

UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA

FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA



**“ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE DISPOSICIÓN PARA EL
APROVECHAMIENTO DEL COQUE DE PETRÓLEO
PROCEDENTE DE LA UNIDAD DE FLEXICOKING DE LA
NUEVA REFINERIA TALARA”**

TESIS

PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE:

INGENIERO QUÍMICO

DANIELA LIZETH NOVOA MAURICIO

PROMOCIÓN 2016 – II

LINEA DE INVESTIGACION:

APROVECHAMIENTO Y GESTION SOSTENIBLE DEL AMBIENTE

Y LOS RECURSOS NATURALES

PIURA – PERÚ

2019

UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA

FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA



PROYECTO DE TESIS

TITULO: “ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE DISPOSICIÓN
PARA EL APROVECHAMIENTO DEL COQUE DE PETRÓLEO
PROCEDENTE DE LA UNIDAD DE FLEXICOKING DE LA
NUEVA REFINERIA TALARA”

TESISTA: Br. DANIELA LIZETH NOVOA MAURICIO

ASESOR: ING. ELMER ARENAS RIOS

CO-ASESOR: ING. ARTURO RODRIGUEZ PAREDES

PIURA-PERÚ
Julio - 2019

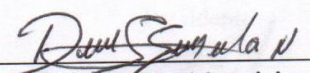
UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA


FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA

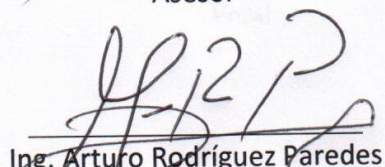


PROYECTO DE TESIS

TITULO: “ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE DISPOSICIÓN
PARA EL APROVECHAMIENTO DEL COQUE DE PETRÓLEO
PROCEDENTE DE LA UNIDAD DE FLEXICOKING DE LA
NUEVA REFINERIA TALARA”


Daniela Novoa Mauricio
Tesisista


Ing. Elmer Arenas Ríos
Asesor


Ing. Arturo Rodríguez Paredes
Asesor

UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA

FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA



LOS QUE SUSCRIBEN, MIEMBROS DEL JURADO CALIFICADOR
CERTIFICAN LA APROBACION DE LA TESIS:

“ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE DISPOSICIÓN PARA EL
APROVECHAMIENTO DEL COQUE DE PETRÓLEO PROCEDENTE DE
LA UNIDAD DE FLEXICOKING DE LA NUEVA REFINERIA TALARA”

Ing. Orlando B. Zapata Coloma
Presidente

Ing. Royveli Carnuachin Gutiérrez
Secretario

Ing. Oscar A. Aliaga Flores
Vocal



UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA
FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS
DECANATO

"AÑO DE LA LUCHA CONTRA LA CORRUPCIÓN Y IMPUNIDAD"


ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

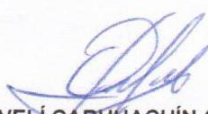
Los Miembros del Jurado Calificador nombrados mediante Resolución N° 561-CF-19, de fecha diez de junio de dos mil diecinueve, que suscriben, reunidos el día viernes veintiséis de julio de dos mil diecinueve, a horas 1:00. p.m., en la sala de conferencias - FIM, para la sustentación de la Tesis titulada "ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE DISPOSICIÓN PARA EL APROVECHAMIENTO DEL COQUE DE PETRÓLEO PROCEDENTE DE LA UNIDAD DE FLEXICOKING DE LA NUEVA REFINERÍA TALARA", conducida por la señorita Bachiller en Ingeniería Química **NOVOA MAURICIO DANIELA LIZETH**; la misma que cuenta con el asesoramiento del Ing° **Elmer Arenas Ríos M.Sc.** Efectuadas las observaciones y dadas las respuestas, la declaran:

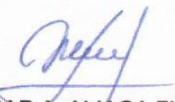
DESAPROBADA	A P R O B A D A			
	Bueno	Muy Bueno	Sobresaliente	Excelente
	-----	-----	-----X-----	-----

En consecuencia, queda en condición de ser calificada **APTA** y solicitar al Consejo Universitario de la Universidad Nacional de Piura, le otorgue el **TITULO PROFESIONAL DE INGENIERA QUÍMICA**, de conformidad con lo estipulado en las normas legales vigentes de la Universidad Nacional de Piura.

Piura, 26 de julio de 2019.


ING° ORLANDO B. ZAPATA COLOMA M.Sc.
Presidente del jurado calificador


ING° ROYVELÍ CARHUACHÍN GUTIÉRREZ, M.Sc.
Secretario del jurado calificador


ING° OSCAR A. ALIAGA FLORES M.Sc.
Vocal del Jurado Calificador

YMN.

DEDICATORIA

Dedicada especialmente a Dios Padre nuestro creador y mejor amigo, fuente de amor, luz que guía e ilumina, fuente de sabiduría que inspira, fuerza que nos da vida, y nos impulsa a seguir adelante sin desanimarnos, a ser felices y luchar por todos nuestros sueños y objetivos.

A nuestra Virgen María, madre y amiga de todos nosotros, quien nos acompaña y guía en el camino de la vida.

A mi madre y abuelos por su apoyo brindado.

AGRADECIMIENTOS

En primera instancia agradezco a mi asesor Ing. Elmer Arenas Ríos (Ing. Universidad Nacional de Piura), a mi Co asesor Ing. Arturo Rodríguez Paredes (Ing. PETROPERU) y al Ing. Néstor Herrera Guerrero (Ing. PETROPERU); por sus constantes apoyos, por sus valiosas ideas, por sus consejos y por el tiempo que ha dedicado a la dirección del presente proyecto.

A mi madre y abuela por su dedicación y paciencia.

RESUMEN

El objetivo principal de esta Tesis es elaborar un Proyecto de alternativas de disposición para el aprovechamiento del coque de petróleo procedente de la unidad de flexicoking de la Nueva Refinería Talara, para ello se han listado distintas alternativas para su máximo aprovechamiento y evitar la acumulación desmedida del mismo en las instalaciones de Refinería Talara.

Se ha tomado en cuenta que las nuevas unidades del Proyecto de Modernización de Refinería Talara, buscan reducir el contenido de azufre de los gases ácidos en forma de sulfuro de hidrógeno; evitando así la contaminación ambiental y corrosión desmedida de los equipos incrementando la productividad de la empresa; generándose también un aprovechamiento de los subproductos generados gracias a su concentración y su alto poder calorífico.

ABSTRACT

The main objective of this Thesis is to elaborate a Project of alternatives of disposition for the use of the petroleum coke coming from the unit of flexicoking of the New Refinery Talara. To this end, different alternatives have been listed for maximum use and to avoid the excessive accumulation of the same in the facilities of Talara Refinery.

It has been taken into account that the new units of the Talara Refinery Modernization Project, seek to reduce the sulfur content of acid gases in the form of hydrogen sulfide; thus, avoiding environmental pollution and excessive corrosion of the equipment, increasing the productivity of the company; also generating an advantage of the by-products generated thanks to its concentration and its high calorific power.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
1 CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	6
1.1 ANTECEDENTES	6
1.1.1 Ubicación refinería Talara	6
1.1.2 Historia refinería Talara	6
1.1.1 Instalaciones actuales	8
1.1.2 Modernización Refinería Talara	11
1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	14
1.2.1 Descripción general del proceso de Flexicoking (FCK)	14
1.2.2 Coque obtenido en la Nueva Refinería Talara	15
1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	15
1.4 OBJETIVOS	16
1.4.1 Objetivos generales	16
1.4.2 Objetivos específicos	16
1.5 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA	16
1.6 HIPÓTESIS	17
1.6.1 Identificación de variables	18
1.7 METODOLOGÍA DE TRABAJO	19
1.7.1 Tipo de investigación	19
1.7.2 Método de investigación	19
1.7.3 Técnicas e instrumentos	19
2 CAPITULO II: MARCO REFERENCIAL Y MARCO TEÓRICO	21
2.1 MARCO REFERENCIAL	21
2.1.1 Bases teórico-científicas	21
2.2 MARCO TEÓRICO	22
2.2.1 Proceso de Flexicoking (FCK)	22

2.2.2	Descripción del Coque de petróleo	35
2.2.3	Producción mundial de coque de petróleo	41
2.2.4	Panorama del mercado de carbón y coque en el Perú	42
3	CAPITULO III: ANALISIS DE DISPOSICIÓN DE COQUE	44
3.1	USO COMBUSTIBLE COQUE	44
3.1.1	Uso en generación de energía	44
3.1.2	Uso en la Industria Cementera	47
3.1.3	Uso en la industria metalúrgica y/o siderúrgica	50
3.1.4	Uso en producción de coque calcinado	53
3.1.5	Exportación de coque de petróleo	53
4	RESULTADOS DEL ANÁLISIS	56
4.1	COMERCIALIZACIÓN A CEMENTERAS	56
4.1.1	Perspectivas de la Demanda y Precios de Coque de Petróleo	56
4.1.2	Justificación	57
4.1.3	Caracterización de los combustibles de los hornos de cemento	58
4.1.4	Ventajas y desventajas del uso de coque como combustible	61
4.1.5	Implementación	61
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	74
5.1	CONCLUSIONES	74
5.2	RECOMENDACIONES	75
6	BIBLIOGRAFÍA	76
7	ANEXOS	79

INDICE DE FIGURAS

<i>Figura N° 1:</i> Ubicación de Refinería Talara	6
<i>Figura N° 2:</i> Configuración actual Refinería Talara.....	10
<i>Figura N° 3:</i> Configuración futura Refinería Talara.....	12
<i>Figura N° 4:</i> Diagrama de bloques de la unidad Flexicoking	14
<i>Figura N° 5:</i> Diagrama de flujo simplificado del proceso Flexicoking	24
<i>Figura N° 6:</i> Diagrama de bloques unidad 100 - FCK	27
<i>Figura N° 7:</i> Diagrama de bloques unidad 200 - FCK	28
<i>Figura N° 8:</i> Diagrama de bloques unidad 300 – FCK.....	30
<i>Figura N° 9:</i> Diagrama de bloques unidad 400 - FCK	31
<i>Figura N° 10:</i> Manejo de coque de lecho y finos de coque	32
<i>Figura N° 11:</i> Manejo de coque húmedo	33
<i>Figura N° 12:</i> Diagrama de la unidad de FCK.....	34
<i>Figura N° 13:</i> Diagrama simplificado de un caldero CFB.....	46
<i>Figura N° 14:</i> Diagrama simplificado de la producción de cemento.....	49
<i>Figura N° 15:</i> Diagrama simplificado de la fabricación del acero.....	52
<i>Figura N° 16:</i> Planta cementos Pacasmayo Piura	61
<i>Figura N° 17:</i> Manejo del coque seco.....	64
<i>Figura N° 18:</i> Manejo del coque húmedo	64
<i>Figura N° 19:</i> Ubicación de cementos Pacasmayo Piura.....	68
<i>Figura N° 20:</i> Distancias entre Piura y Talara	68
<i>Figura N° 21:</i> Ubicación aeropuerto de Talara.....	69
<i>Figura N° 22:</i> Transporte terrestre de Talara-Piura	69

INDICE DE TABLAS

<i>Tabla N° 1:</i> Principales unidades de proceso	7
<i>Tabla N° 2:</i> Matriz de operacionalización de las variables	18
<i>Tabla N° 3:</i> Comparativa de Principales Características por Tipo de Combustible.....	35
<i>Tabla N° 4:</i> Composición comparativa entre procesos de coquizado	37
<i>Tabla N° 5:</i> Especificaciones de diseño de la unidad FCK.....	38
<i>Tabla N° 6:</i> Estadísticas de importaciones de coque al Perú	43
<i>Tabla N° 7:</i> Niveles de Adición de Coque de Petróleo por Tipo de Tecnología.....	44
<i>Tabla N° 8:</i> Principales generadoras de energía en el Perú.....	45
<i>Tabla N° 9:</i> Principales exportadores de coque en el mundo.....	54
<i>Tabla N° 10:</i> Clasificación de carbones por categoría	60
<i>Tabla N° 11:</i> Capacidad de producción Cementos Pacasmayo.....	62
<i>Tabla N° 12:</i> Propiedades del coque como producto final entregado por Petroperú	66
<i>Tabla N° 13:</i> Analisis de coque realizados por cementos Pacasmayo	67
<i>Tabla N° 14:</i> Costos de operación del vehículo de carga de coque de petróleo.....	70
<i>Tabla N° 15:</i> Costos de operación de transporte de antracita.....	71

INDICE DE GRAFICOS

<i>Grafico N° 1:</i> Producción mundial de coque de petróleo.....	42
<i>Grafico N° 2:</i> Zona de Influencia Geográfica de las Empresas Cementeras en el Perú.....	48
<i>Grafico N° 3:</i> Tipos de combustibles de los hornos de cementos.....	58
<i>Grafico N° 4:</i> Detalle en el sistema del precalcinador	72
<i>Grafico N° 5:</i> Detalle del esquema de alimentación al horno	73

INDICE DE ANEXOS

<i>Anexo N° 1:</i> Matriz de consistencia general.....	80
<i>Anexo N° 2:</i> Matriz de consistencia especifica.....	81
<i>Anexo N° 3:</i> Visitas a Refinería Talara.....	82
<i>Anexo N° 4:</i> Proyección final del consumo de energía	84
<i>Anexo N° 5:</i> Crecimiento del consumo final de hidrocarburos liquidos	85
<i>Anexo N° 6:</i> Producción de petroleo crudo (BPD).....	86
<i>Anexo N° 7:</i> Países que cuentan con la tecnología de flexicoking	87
<i>Anexo N° 8:</i> Proceso FCK unidad 100	88
<i>Anexo N° 9:</i> Proceso FCK unidad 200	92
<i>Anexo N° 10:</i> Proceso FCK unidad 300	99
<i>Anexo N° 11:</i> Proceso FCK unidad 400	103
<i>Anexo N° 12:</i> Transformaciones químicas en el tratamiento térmico del crudo	106

INTRODUCCIÓN

Las sociedades contemporáneas se enfrentan a una gran variedad de desafíos tecnológicos. El aumento de la población mundial, el agotamiento de los recursos naturales y el impacto que han venido provocando sobre el medio ambiente nuestras técnicas de producción, constituyen algunos de los factores que impulsan la búsqueda de nuevas alternativas tecnológicas para la obtención de energía y el control de las emisiones de contaminantes.

PETROPERU en respuesta a los nuevos estándares mundiales y nacionales de comercialización de Diésel y Gasolina, cuya tendencia es la disminución o reducción de los niveles de azufre decide modernizar la Refinería de Talara para producir combustibles de acuerdo con los nuevos requerimientos ambientales, a precios competitivos y asegurar la reserva energética del país.

Con el Proyecto de Modernización Refinería Talara (PMRT), PETROPERU ampliará sus unidades y construirá nuevas, permitiendo entre otras cosas, desulfurizar los combustibles y mejorar el octanaje de las naftas. También, procesará crudos más pesados para reducir costos y mejorar el rendimiento de combustibles livianos (gasolina y diésel).

En la actualidad, la mayor parte de los recursos de petróleo en el mundo corresponde a hidrocarburos viscosos y pesados, que son difíciles y caros de extraer y refinar. Por lo general, se considera que mientras más pesado es el petróleo crudo, menor es su valor económico. Las fracciones de crudo más livianas y menos densas, derivadas del proceso de destilación simple, son las más valiosas. Los crudos pesados tienden a poseer mayores concentraciones de metales y otros elementos contaminantes, lo que exige más esfuerzo e inversión para la producción de hidrocarburos utilizables y/o la disposición final de los residuos.

Si bien la densidad del petróleo es importante para evaluar el valor del recurso y estimar el rendimiento y los costos de refinación, la propiedad del fluido que más afecta la producibilidad y la recuperación es la viscosidad del petróleo. Cuanto más viscoso es el petróleo, más difícil resulta producirlo. No existe ninguna relación estándar entre densidad y viscosidad, pero los términos “pesado” y “viscoso” tienden a utilizarse en forma indistinta para describir los petróleos pesados, porque los petróleos pesados tienden a ser más viscosos que los petróleos convencionales.

El petróleo pesado es menos valioso, más difícil de extraer y, por consiguiente, más difícil de refinar que los petróleos convencionales, entonces surge la pregunta acerca del por qué del interés de las compañías petroleras en comprometer recursos para extraerlo.

Es por ello por lo que el petróleo pesado promete desempeñar un rol muy importante en el futuro de la industria petrolera y muchos países están tendiendo a incrementar su producción, revisar las estimaciones de reservas, comprobar las nuevas tecnologías e invertir en infraestructura para asegurarse de no dejar atrás sus recursos de petróleo pesado.

Los procesos de Conversión profunda (FCK) son actualmente los más utilizados por las modernas refinerías de petróleo que operan en el mundo. Estas refinerías son clasificadas como Conversión Profunda debido a que en su esquema de refinación cuentan con una unidad de coquificación de residuales, los cuales son convertidos en productos de mayor valor comercial, tales como el Gas Licuado de Petróleo (GLP), las Gasolinas y los Destilados Medios como el Diésel.

De las diferentes tecnologías de procesos de conversión profunda, se encuentra el proceso de Flexicoking de la licenciante Exxon Mobil, que es un proceso que usa la tecnología de lecho fluidizado continuo, una combinación de craqueo térmico de residuo, combustión y gasificación de coque que finalmente produce: Gases Combustibles, GLP, Nafta, Gasóleos y como subproducto Coque.

El coque es un excedente del proceso de Conversión profunda (FCK), cuyo poder calorífico lo convierte en un producto de buena demanda internacional, utilizado en las industrias siderúrgicas, cementeras, eléctricas, nuclear, etc. De manera que no es como se pudiera pensar, “que la montaña de este producto de desecho acumulado se tira allí”.

Todo ese coque tiene mercado y el valor de la tonelada de ese producto en el mercado internacional oscila entre 50-200 dólares (Rizhao Ninefine International Trading). Si bien es cierto el coque es el combustible que genera mayor contaminación debido a su combustión deficiente, pero actualmente ya hay tecnologías que permiten usar el coque como combustible en hornos de las plantas de cemento y en plantas de termo electricidad, generando poca contaminación; incluso los gases que emite su incineración son tratados antes de ser liberados a la atmósfera.

También el coque crudo puede ser utilizado en la industria cementera como materia prima. El coque calcinado sirve para la industria siderúrgica, para la fabricación de ánodos necesarios para la industria del aluminio, para la fabricación de titanio y para la producción de grafeno. Ciertamente del uso del coque queda una pequeña porción residual, pero se está buscando disponerla para minimizar el impacto ambiental.

El hecho de ser un subproducto de la refinación de petróleo, con alto poder calorífico y bajo contenido de cenizas, que permite bajos costos de transporte, hace del coque de petróleo un combustible menos costoso que el carbón y otros combustibles líquidos. Desde el punto de vista ambiental, el alto contenido de azufre y metales tienden a hacerlo un combustible poco atractivo. Sin embargo, su disponibilidad creciente y los precios en declive son aspectos por considerar para su selección como energía primaria de plantas de generación nuevas (Narula, 2004; Amick et al. 2001).

TERMINOS Y ABREVIACIONES ESPECIFICOS

Bogging: Taponamiento y/o pérdida de fluidización de un lecho.

Chunk: Se refiere a aglomerados grandes de coque.

Cold coke screen: Dispositivo (malla) colocada en la salida del coque frio en el fondo del reactor.

Gasifier: Gasificador.

Heater: Calentador.

Heater Overhead: Se refiere al Sistema aguas abajo del Heater, el cual maneja los gases calientes que salen por el tope del mismo.

Quench: Enfriamiento por contacto.

Reactor stripper: Zona inferior del Reactor, donde se inyecta vapor de despojamiento para asegurar que los productos del craqueo térmico se separen del coque generado, antes de salir del reactor en forma de coque frio (cold coke).

Riser: (Asociado a líneas de transferencia) Parte final de la línea de transferencia, antes de entrar al equipo destino. La densidad aparente de del coque es mucho menor que en el Standpipe

Scouring coke: Se refiere a coque utilizado para como agente de abrasión en la zona superior del reactor.

Scrubber: Dispositivo (normalmente un recipiente o columna) con facilidades de lavado para la remoción de sólidos o sales disueltas en corrientes gaseosas.

BPA: Bottom Pumparound

MBPD: Miles de barriles por día

CCR: Conradson Carbon Residue

CKS: Coke Sewer (sistema de drenaje de la fosa de coque)

FXG: Flexigas

FXS: Flexsorb Sump (sistema de drenaje de flexsorb)

HKGO: Heavy Coker Gas Oil

HHKGO: Heavy Heavy Coker Gas Oil

HMPS: High Medium Pressure Steam (Vapor de Media Presión de alta Temperatura)

HSS: Heat thermally stable salts (Sales térmicamente estables)

LKGO: Light Coker Gas Oil

MPA: Middle Pumparound

PNA: Poly nuclear Aromatic. (Compuestos aromáticos polinucleares)

SPA: Slurry Pumparound

1 CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 ANTECEDENTES

1.1.1 Ubicación refinería Talara

La refinería se localiza en el distrito de Pariñas, provincia de Talara, región de Piura a 1185 km al norte de la ciudad de Lima, Perú, Latitud Sur $4^{\circ}34'$ – Longitud Oeste $81^{\circ}17'$. (Ver figura N°1).

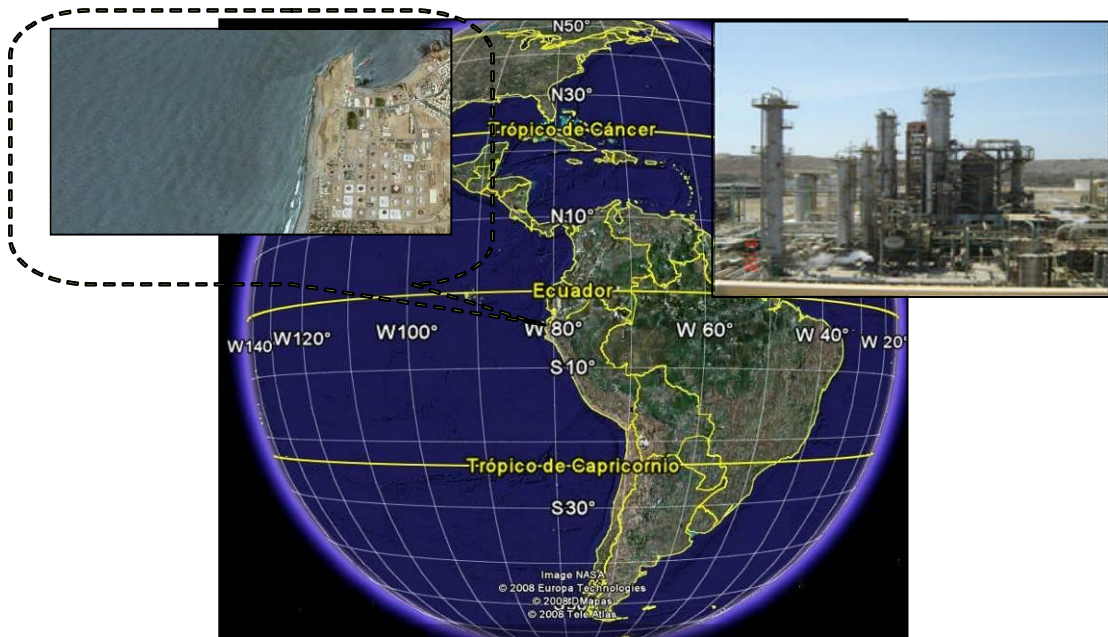


Figura N° 1: Ubicación de Refinería Talara

Fuente: Historia Refinería Talara (Espinoza, 2001)

1.1.2 Historia refinería Talara

En 1914, empresarios ingleses representados por William Keswic arriendan los campos petroleros vírgenes de Talara a una empresa llamada International Petroleum Co. (IPC), subsidiaria de la Standard Oil Co. (Espinoza, 2001). Debido a las reservas probadas a esa fecha y a la cercanía de los yacimientos y el mar, la empresa decide instalar una refinería de petróleo en un lugar estratégico.

Tal es así que en el año 1915 se da arranque a una serie de columnas de destilación a flujo continuo con una capacidad de procesamiento de 10,0 MBPD. Inicia sus operaciones comerciales en 1917.

En 1954, IPC reemplazó la batería de alambiques por una columna tubular (alambique tubular N° 2), de 45,0 MBPD. Dicha capacidad se amplió a 57,0 MBPD en 1965 y a 62,0 MBPD en 1967. Las maniobras de arranque de esta nueva unidad se iniciaron el 2 de julio, día que se conmemora el aniversario de la refinería.

En 1974, ya bajo la administración de Petróleos del Perú, la refinería Talara inicia el proyecto de modernización, construyendo las Unidades de Destilación al Vacío de 19,8 MBPD, Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado de 16,6 MBPD. Estas unidades iniciaron sus operaciones en enero de 1975 y reemplazaron a las antiguas unidades de craqueo térmico. Con esto se logró establecer fuertemente en el mercado, la producción de GLP y gasolina de alto octanaje (Ministerio de Energía y Minas).

Entre los años 2003-2004 la Unidad de Destilación Primaria (UDP) quedo automatizada totalmente. Las unidades del esquema de refinación de Actual Refinería Talara son las siguientes, ver figura N°2:

Tabla N° 1: Principales unidades de proceso

UNIDAD DE PROCESO	CAPACIDAD ACTUAL, MBPD
Destilación atmosférica (UDP)	65
Destilación al vacío 1 (UDV – 1)	29
Craqueo Catalítico Fluidizado (FCC)	19

Fuente: (Ministerio de Energía y Minas)

1.1.1 Instalaciones actuales

Las instalaciones que se encuentran dentro (Unidades de Proceso) y fuera (Servicios Industriales e Instalaciones Externas a la Planta) de los límites de batería, su función y capacidad existentes.

1.1.1.1 Unidades de proceso (Petroperu, 2007)

1.1.1.1.1 Unidad de destilación primaria (UDP): La Torre atmosférica existente es una columna de destilación multibandejas que separa el crudo desalado en numerosos "cortes" destilados como Nafta ligera, Nafta Pesada, Kerosene/Turbo A-1 y Diésel. Los fondos de la Torre ("Crudo Reducido") son alimentados a la Unidad de Destilación al Vacío. La capacidad actual de la Unidad es de 65 mil barriles día (MBD).

1.1.1.1.2 Unidad de destilación al vacío (UDV): La torre de Destilación al Vacío (UDV 1) que procesa el "Crudo Reducido" de la Torre Atmosférica y lo separan en varios cortes, incluyendo Gasóleos ligero y Pesado (para la producción de Diésel y para alimentar la Unidad de Craqueo Catalítico respectivamente) y los "Residuos de Vacío" que sirven para producir asfaltos y aceite combustible. La capacidad para la UDV 1 actual es de 29 MBD.

1.1.1.1.3 Unidad craqueo catalítico (UFCC): Procesa Gasóleos pesados y los "craquea" para producir compuestos con menor número de carbonos que incrementan el número de octanaje de la gasolina. Los gases de tope de la UFCC son enviados a la Unidad de Recuperación de Gases (URG) para producir Gas Licuado de Petróleo (GLP). La capacidad de la UFCC es de 19 MBD.

1.1.1.1.4 Unidad de recuperación de gases (URG): Procesa los gases de tope de la UFCC y produce GLP como una corriente condensada. Los gases de desecho son enviados a la antorcha (flare). La capacidad de la URG concuerda con la capacidad existente de la UFCC.

1.1.1.1.5 Planta de tratamiento caustico: la Nafta ligera, la Nafta Pesada y el Turbo A 1 de la Torre Atmosférica son convertidas en productos e li productos terminados (Solvente 1, Solvente 3, Gasolinas, Turbo A 1).

1.1.1.2 Servicios industriales e instalaciones externas a la planta

Servicios Industriales y especialidades (USIE): La parte de Servicios Industriales en esta sección proporciona a la Refinería las siguientes corrientes:

- Vapor: Sistema de 150 y 600 psi.
- Aire; para propósitos de la Planta e Instrumentos.
- Agua de mar: Para propósitos de enfriamiento de los procesos y sistema contra incendios.
- Agua potable.
- Agua Desmineralizada: Para la generación de vapor en los calderos. La cual consiste en 2 trenes de agente de intercambio iónico, son regenerados con ácido sulfúrico. El agua desalinizada para este proceso es proporcionada por la Planta de Osmosis inversa que es operada por la compañía española Pridesa S.A.
- Gas Combustible: Incluye el gas natural comprado y el gas de refinería.
- Sistema de distribución eléctrica.

1.1.1.3 Sistema Antorcha (FLARE)

Existe solamente una antorcha con vapor asistido (smokeless) ubicada en una colina hacia el lado oeste de la Refinería.

1.1.1.4 Sistema API y CPI

El agua aceitosa del sistema de desagüe fluye a los separadores de agua - aceite para recuperar el aceite antes de ser expulsado al mar. Hay dos separadores API que procesan el agua aceitosa de la UDP y del área de tanques de almacenamiento.

El separador CPI procesa el agua aceitosa al Complejo FCC. Además, cuenta con un sistema de aguas pluviales, para coleccionar y disponer del agua de lluvia que se acumula en los diques y se elimina hacia el mar.

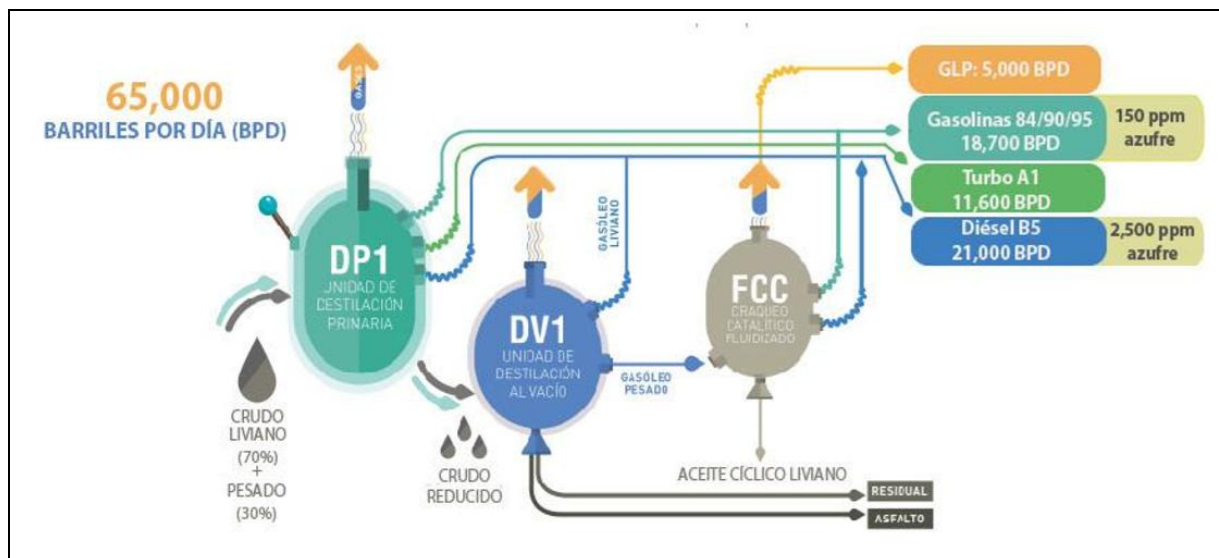


Figura N° 2: Configuración actual Refinería Talara

Fuente: (PETROPERU)

PETROPERU S.A. viene ejecutando un programa de modernización para la Refinería Talara localizada en la costa noroeste de Perú. Actualmente la refinería produce aceites combustibles de alta calidad que cumplan las especificaciones, pero debido a la baja complejidad de su configuración actual de procesamiento no se alcanzan las tendencias mundiales. La propuesta de actualización de la Refinería Talara, que comprende el procesamiento de crudos pesados, desulfurización y otras unidades, lo cual le permitirá a la refinería producir productos combustibles que cumplan los nuevos requerimientos ambientales, aumentar su flexibilidad para procesar más crudos de baja calidad, satisfacer la creciente demanda del mercado y mejorar la competitividad y la rentabilidad.

La propuesta de modernización de la Refinería Talara está configurada con una combinación de múltiples tecnologías de refinación licenciadas y unidades de proceso no licenciadas. El éxito de gestión de la Nueva Refinería asegurará la calidad y maximizará la cantidad de productos refinados.

1.1.2 Modernización Refinería Talara

La configuración optimizada de la Refinería de Talara permite frente a la configuración actual, la desulfurización de los combustibles de motores diésel y gasolina, procesamiento de crudos pesados, aumento del octanaje promedio de la gasolina, desarrollo de la capacidad de producción de ácido sulfúrico y generación de energía eléctrica para consumo interno (PETROPERU).

De manera general el Proyecto de Modernización de Refinería Talara (PMRT) busca incrementar la capacidad de procesamiento actual de la Refinería de 65,000 a 95,000 barriles por día de operación (BPSD) y permitir ampliar su flexibilidad para procesar diferentes estructuras de carga, procesar petróleos crudos pesados, producir una amplia gama de productos y cubrir los requisitos mínimos peruanos en cuanto al nivel de azufre en Diésel y Gasolinas.

La siguiente figura N°3. muestra la configuración futura de la Refinería de Talara, con una capacidad para producir 95,000 barriles por día (BPSD).

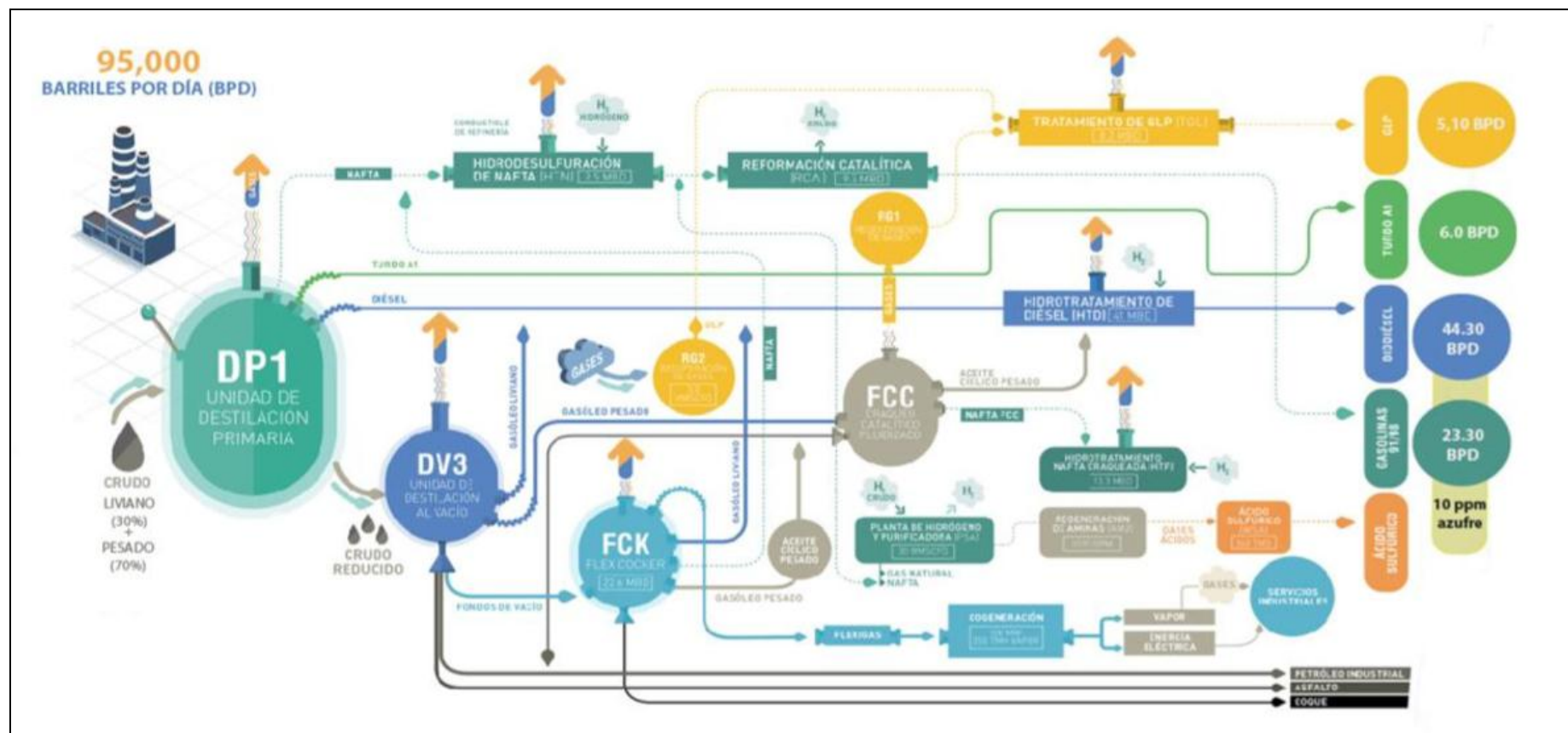


Figura N° 3: Configuración futura Refinería Talara

Fuente: (PETROPERU)

Las nuevas unidades de proceso que forman parte de la Nueva Refinería Talara son:

- DP1 - Unidad de Destilación Primaria
- DV3 - Unidad de Destilación al Vacío III
- FCK - Unidad de Coquificación de Residuo de Vacío
- HTN - Hidrotratamiento de Nafta
- RCA - Reformador de Nafta
- FCC - Unidad de Craqueo Catalítico
- HTF - Hidrotratamiento de Gasolina de FCC
- RG1 - Unidad de Recuperación de Gases I
- RG2 - Unidad de Recuperación de Gases II
- HTD - Hidrotratamiento de Diésel
- AM2 - Planta de Amina
- TGL - Tratamiento de GLP
- WS2 - Despojador de Aguas Agrias II

Sus procesos estarán conformados por:

- Unidades de separación física: Como Destilación Primaria (DP1), Destilación al Vacío (DV3), y Recuperación de gases (RG1/RG2). Permite la producción de productos valiosos como diésel, turbo A1 y naftas como carga para otras unidades de conversión y tratamiento.
- Unidades de conversión: Como Craqueo Catalítico Fluidizado (FCC), Flexicoking (FCK) y Reformado catalítico (RCA). Estas unidades se encargan de transformar a través de reacciones químicas y el uso de catalizadores, productos de menor valor a mayor valor económico.
- Unidades de Mejoramiento de la Calidad: Tenemos Hidrotratamiento de diésel (HTD), Hidrotratamiento de naftas (HTN), Hidrotratamiento de naftas de FCC (HTF), y Tratamiento de gas licuado (TGL). Estas unidades se encargan de retirar el azufre del diésel, gasolinas y GLP, a través de múltiples reacciones químicas y el uso de catalizadores.

1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.2.1 Descripción general del proceso de Flexicoking (FCK)

La nueva Unidad de Flexicoking (FCK) de la nueva Refinería Talara procesará el residual de fondo de la Torre de Vacío de la Unidad DV3. El residuo de vacío precalentado en el scrubber se envía como alimentación al reactor donde al entrar en contacto con el coque caliente, recibe la energía necesaria para el craqueo térmico. Los gases del reactor son entonces enviados al scrubber donde se enfrían para controlar el punto de corte del ciclo (RCP) y se lavan para evitar arrastre de partículas de coque. Los gases del tope del scrubber son enviados a la sección de fraccionamiento y separación de gases donde se obtienen los productos finales de la unidad: Gasóleo pesado (HKGO), Gasóleo liviano (LKGO), Nafta, GLP y Gases.

El coque producido es enviado al gasificador donde es convertido en un gas de bajo poder calorífico (Low Btu gas) que es purificado en una planta interna de tratamiento de aminas antes de ser usado como gas combustible en la refinería (Flexigas), mientras que las partículas finas de coque liberadas y recuperadas son depositadas en recipientes y transportadas fuera del lugar para la venta (PETROPERU, 2017). (Ver figura N°4).

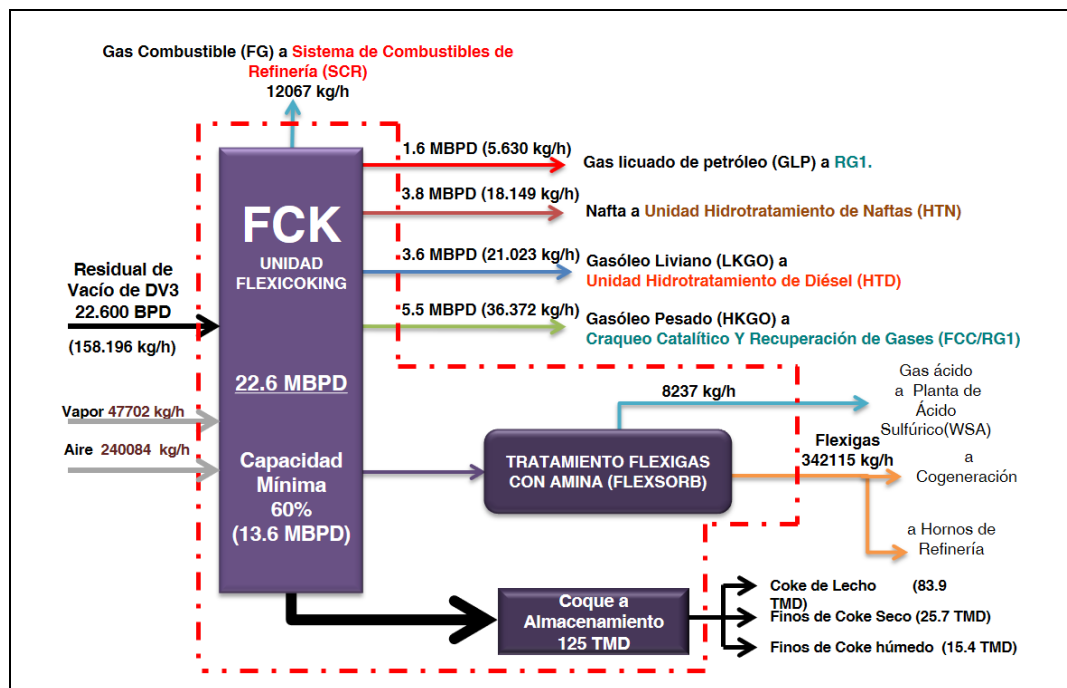


Figura N° 4: Diagrama de bloques de la unidad Flexicoking

Fuente: Manual de procesos FCK (PETROPERU, 2017)

1.2.2 Coque obtenido en la Nueva Refinería Talara

El nuevo esquema de refinación permitirá la obtención de 3 (tres) tipos de coque:

- Coque de lecho: La producción normal de coque de lecho normalmente esta entre 67.8 y 83.9 MT/d para una gasificación del 92% del coque.
- Coque seco: Los finos de coque seco son retirados a una velocidad máxima entre 20.8 y 25.7 TM/d.
- Coque húmedo: La producción normal de finos de coque húmedo esta entre 12.5 a 15.4 MT/d (en base seca). Sin embargo, el sistema está diseñado para manejar 20.1 TM/d.

1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

El proceso de Flexicoking (FCK), según su diseño generará 88.6 – 109.6 TM/día de coque seco, es decir aproximadamente 40,004 TM/año, la disposición y manejo final aún no está definido por Petroperú lo que representa un problema para la nueva Refinería Talara. Si el coque producido en FCK no es manejado apropiadamente, podría ocasionar la acumulación de miles de toneladas (“cerros”) de coque y la necesidad de disponer de grandes áreas de terreno para su almacenamiento, acarreando problemas de contaminación ambiental y de salud a la población, lo que también originaria es que la unidad de FCK pare operativamente por temas de exceso de capacidad producida de almacenamiento.

Ahora bien, aunque el coque no es responsable de los problemas respiratorios de la Ciudad de Talara, es cierto que podría generar potenciales problemas de contaminación con este producto. Uno muy importante es que es un material inflamable. Otro problema muy real e importante es que el coque al entrar en contacto con agua, ella interactúa con el azufre y esta reacción ayuda a liberar los metales pesados, elementos que van a la planta de tratamiento de efluentes y luego al mar. También existe el riesgo de que excedida la cantidad de los “cerros de coque” y siendo muy largo el tiempo de almacenamiento, podría causar la paralización de las operaciones de planta.

En el presente estudio de “Análisis de alternativas de disposición para el aprovechamiento del coque de petróleo procedente de la unidad de flexicoking de la nueva Refinería Talara” se plantea como opciones de disposición final, la disponibilidad y el uso apropiado del coque producido en la Unidad de Flexicoking, capaz de abastecer los requerimientos del sistema para cumplir con los objetivos del estudio planteado y de evitar la sobrecarga del mismo.

¿Es posible evitar la acumulación del coque en Refinería Talara, para poder determinar la mejor alternativa de uso y disposición en distintas industrias cementeras?

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivos generales

- El principal objetivo de este trabajo de tesis es evaluar las alternativas de aprovechamiento del manejo y disposición del coque producido en la Unidad de Flexicoking de la nueva Refinería Talara.

1.4.2 Objetivos específicos

- Estudio de las propiedades físico-químicas del coque de petróleo.
- Proponer distintas alternativas de disposición del coque de petróleo.
- Evaluar la eficiencia viable de la alternativa propuesta.

1.5 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

La presente tesis puede enmarcarse en términos generales en lo siguiente: El coque de petróleo al almacenarse por tiempos indefinidos en Refinería Talara, generaría una acumulación inmanejable, causando una contaminación desmedida, agotamiento del relleno industrial de Refinería Talara y además multas por parte de las autoridades e incluso la paralización de las operaciones de planta.

Al producirse miles de toneladas de coque por año, se generarían graves problemas, no solo por el deterioro progresivo del medio ambiente, sino también desde el punto de vista económico puesto que los costos de recolección, transporte y disposición final son cada vez mayores en nuestra comunidad, además el “No darle un valor agregado al subproducto obtenido” conlleva también importantes pérdidas económicas.

Debido a la urgente necesidad de encontrar y desarrollar un beneficio a los residuos del coque se pretende implementar alternativas de manejo y disposición del coque producido en la unidad FCK.

IMPORTANCIA

Se evitará la acumulación de los residuos (coque) de la unidad de Flexicoking de la Nueva Refinería Talara, esto es importante ya que se genera una gran cantidad de desechos orgánicos que en su mayoría no son aprovechados, evitando así la contaminación y futuros problemas operacionales. Una manera de poder darle uso y aportar un beneficio a este residuo es extrayendo sus propiedades, de esta manera se podrá reutilizar aportando beneficios al ser utilizado como una alternativa para la generación como combustibles fomentando el desarrollo de producciones a partir de este.

1.6 HIPÓTESIS

La disposición del coque generado en la Unidad de Flexicoking en la modernización de Refinería Talara a distintas industrias, permitirá evitar una acumulación y contaminación desmedida en la ciudad, agotamiento del relleno industrial de Refinería Talara y además multas por parte de las autoridades. Además de poder ser comercializado a distintas industrias.

1.6.1 Identificación de variables

Tabla N° 2: Matriz de operacionalización de las variables

<i>Variable</i>	<i>Concepto</i>	<i>Aplicación</i>	<i>Medida</i>
Independiente: Disposición de la cantidad de coque de la Unidad FCK.	Es la que supone la causa del efecto, disposición y almacenamiento del coque proveniente de la Unidad FCK.	El coque, subproducto de la Unidad FCK tendrá varias alternativas de disposición de salida de Refinería Talara de acuerdo con la cantidad de producción de la unidad FCK.	Dependerá de la alimentación a la Unidad de FCK que son provenientes de DV3, el coque se extrae como fondo o subproducto.
Dependiente: Tiempo de acumulación del coque en Refinería Talara	Es la variable que cambia a partir de la independiente, como es el caso del tiempo de acumulación del coque proveniente de la Unidad FCK.	El tiempo de acumulación del coque en Refinería Talara dependerá de la productividad de la planta.	Dependerá de las alternativas de disposición y almacenamiento propuestas para que el coque sea usado por otras industrias.

Fuente: Propia

1.7 METODOLOGÍA DE TRABAJO

1.7.1 Tipo de investigación

Esta investigación se inicia en un análisis general sobre las posibles alternativas del uso del coque, para concluir en una propuesta mediante la aplicación de la utilización como combustible en plantas cementeras.

Esta investigación es del tipo aplicada, se basa en los descubrimientos y avances de la investigación básica, se caracteriza directamente por enfocarse en la aplicación, utilización y puesta en práctica de los conocimientos. La investigación aplicada busca el conocer para hacer, para actuar, para construir, para modificar.

Es una investigación descriptiva, ya que está orientada a la observación y análisis de los efectos de los usos del coque.

La presente es también una investigación explicativa, cuantitativa y cualitativa, este estudio pretende comprender y explicar la importancia de la aplicación del uso del coque, no experimental (el investigador se limita a observar los acontecimientos sin intervenir en los mismos).

1.7.2 Método de investigación

Una vez definido el tema, producto de una indagación y revisión de material textura, se concibe la pregunta central de la investigación, con ella se logra definir los objetivos y variables que permitan generar la hipótesis. Para la elaboración del diagnóstico de la investigación se requiere conocer el tema, esto se logra mediante la elaboración de un marco teórico respaldado en referencias bibliográficas, también se requiere la aplicación de técnicas e instrumentos de recolección de información para un posterior análisis.

1.7.3 Técnicas e instrumentos

Las técnicas e instrumentos para desarrollar la investigación son:

- Recolectar información acerca del lugar (Refinería Talara).
- Elaborar un compendio de información general a cerca del situacional de las posibles empresas que requieran coque como producto principal.

- Recolectar información acerca de la generación de energía, sus tipos y aplicaciones en el mundo. Cuál es el estado de este recurso Perú y su potencial energético para ser aprovechado.
- Buscar información acerca de las propiedades del coque.

2 CAPITULO II: MARCO REFERENCIAL Y MARCO TEÓRICO

2.1 MARCO REFERENCIAL

2.1.1 Bases teórico-científicas

- A. (GONZÁLEZ M., 2017) publicó en la revista de logística un artículo de nombre *“COQUE DE PETRÓLEO, NUEVA ALTERNATIVA DE COMBUSTIBLE”*

“El coque de petróleo es una excelente fuente de calor, por eso se usa para generar energía en calderas de la industria. Sustituye al gas y al combustóleo en la industria cementera y siderúrgica. También es utilizado como material para la fabricación de piezas en la industria del aluminio.

Adicional a esto, los expertos en el tema afirman que la tendencia de los refinadores de petróleo se inclina hacia la utilización de procesos de gasificación de sus residuos, con el fin de producir materia prima que pueda ser destinada para diversos propósitos”.

Por lo tanto, en base a lo expresado se concluye que el coque de petróleo contiene las características y propiedades necesarias para ser utilizado con el fin de este proyecto de investigación.

- B. (LOPEZ J., 2014) publicó en la revista de Al calor político, un artículo de nombre *“ALMACENAMIENTO AL CIELO ABIERTO DE COQUE DAÑARA LA SALUD DE LOS VERACRUZANOS”*

El inadecuado almacenamiento y distribución de coque de petróleo crudo se realiza en Veracruz a cielo abierto “está perjudicando severamente la salud de los habitantes, el ecosistema y la biosfera de la entidad. En un punto de acuerdo que presentó se exige que se realicen estudios para comprobar el nivel de contaminación y afectación a la salud de los pobladores, así como la evaluación de sustancias químicas en el agua y suelo.

Por lo tanto, en base a lo expresado se concluye que el almacenamiento excesivo y continuo del coque en lugares abiertos causa una gran contaminación. Siendo esta una base y sustento para la realización del este proyecto de investigación.

C. (PIZANGO J., 2014) de la Universidad Nacional de Ingeniería publicaron una tesis titulada: *“EVALUACIÓN TÉCNICA – ECONÓMICA DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DE GASES COMBUSTIBLES DE REFINERÍA TALARA MODERNIZADA”*

“La tecnología de Flexicoking minimiza la producción de coque. Sabemos que, en la actualidad, el mercado de coque está sobre abastecido, de tal manera que sería difícil su venta, considerando que la ubicación geográfica de Refinería Talara no permitirá manipular grandes cantidades de coque porque no se cuenta con un terreno disponible para su almacenamiento. Para el caso de los pocos remanentes de flexicoking generados se podrá enviar al relleno Milla Seis en el marco de la Ley N° 27314 Ley General de Residuos Sólidos”.

Por lo tanto, en base a lo expresado se puede concluir que para evitar la acumulación de coque en el relleno Milla Seis, se tendrá alternativas de almacenamiento en otros puntos. Siendo esta una base y sustento para la realización del este proyecto de investigación.

2.2 MARCO TEÓRICO

2.2.1 Proceso de Flexicoking (FCK)

El proceso de Flexicoking es una de las nuevas unidades de la nueva Refinería Talara, que está basado en la desintegración térmica severa (coquización) que convierte la fracción más pesada del crudo (fondos de Unidad de Destilación al vacío) en productos de mayor valor comercial (gases, olefinas, naftas, gasóleos, lechada y coque). Las ventajas del Flexicoking se listan a continuación:

- **Flexible:** Un proceso robusto, capaz de manejar una variedad de alimentaciones de una amplia gama de alta Conradson Carbon Residue (CCR), azufre y metales pesados, sin la necesidad de un horno de alimentación.
- **Multi-Propósito:** Coque con alto contenido de azufre y de bajo valor agregado se convierte en un gas combustible (flexigas) limpio y polivalentes, que pueden ser utilizado en hornos de refinerías, calderas y turbinas de gas o procesado para recuperar H₂, N₂, y CO₂.

El tratamiento con FLEXSORB™ de ExxonMobil se incorpora para reducir el H₂S en Flexigas a 10 ppm en peso, o cuanto sea necesario.

- **Optimizable:** La gasificación del coque puede optimizarse durante la operación, para descongestionar la unidad o para satisfacer las necesidades operacionales, tales como los cambios en las formulaciones de alimentos y las variaciones en el consumo flexigas.
- **Ambientales:** Un sistema de manejo de coque integrado, continuo y cerrado, mantienen un nivel bajo de emisiones de partículas de coque y/o hidrocarburos a la atmosfera. Las emisiones de SO_x y NO_x debido a la quema del Flexigas limpio en comparación con la quema de coque de alto azufre con mucho más bajas.
- **Fiable:** El funcionamiento en régimen continuo en combinación con aislamiento que mantienen las paredes de los equipos (de acero al carbono) en niveles aceptables de temperatura, contribuye a los altos factores de fiabilidad y de servicios que superan el 92% de forma rutinaria.
- **Espacio:** La disposición de las unidades modernas Flexicoking necesitan normalmente un 20% menos de área, en comparación con una unidad de coquización retardada básica de capacidad similar.

El objetivo general de la unidad de Flexicoking es procesar 22,600 BPSD de residuo de vacío proveniente de Unidad de Destilación al Vacío III (DV3).

El objetivo específico de cada sección que conforma la unidad de Flexicoking es:

- i. Sección de sólidos fluidizados
- ii. Sección de fraccionamiento y recuperación de livianos
- iii. Sección de cabeza del heater y flexsorb
- iv. Sección de Manejo de coque sólido y Húmedo.

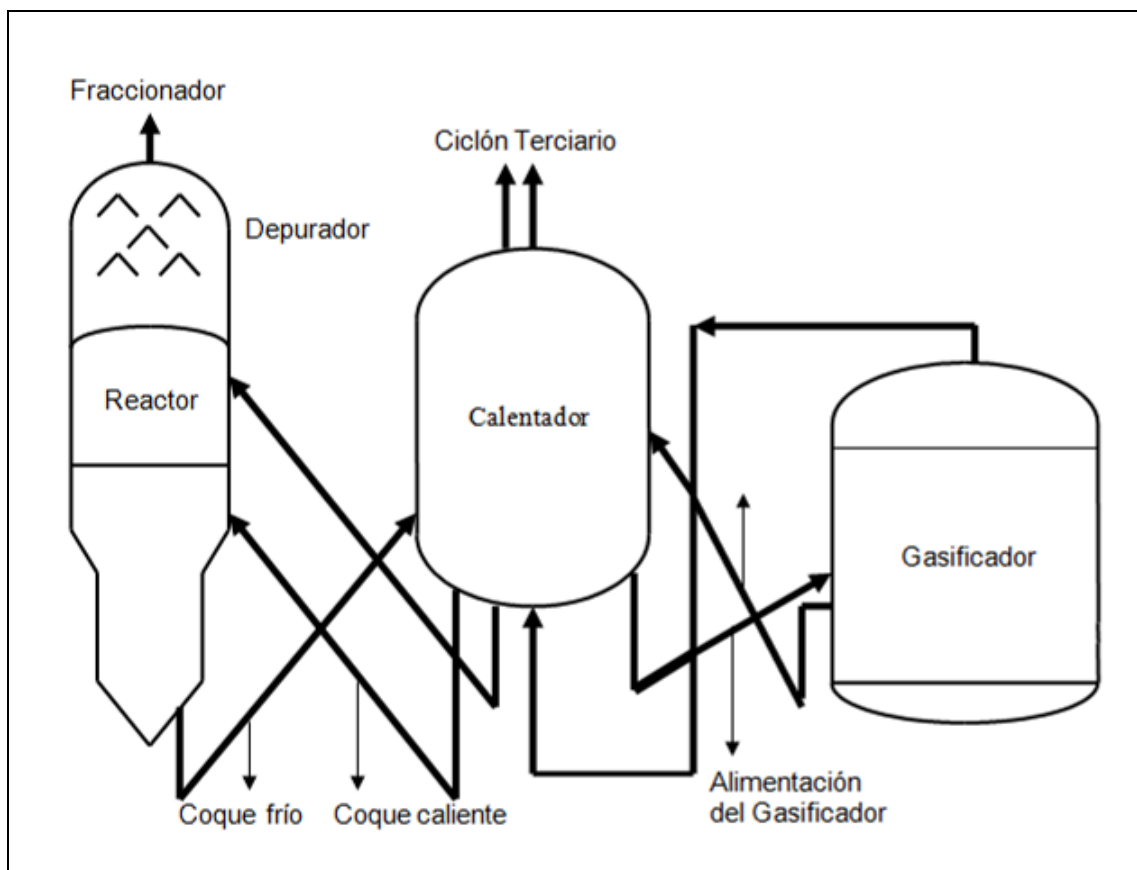


Figura N° 5: Diagrama de flujo simplificado del proceso Flexicoking

Fuente: Manual de procesos FCK (PETROPERU, 2017)

i. Sección de sólidos fluidizados (Unidad 100)

Durante operación normal, la alimentación fresca se compone de residual de vacío, 90% directamente de la Unidad de Destilación al Vacío III (DV3) a 288 °C y 10% desde tanques de almacenamiento a 204 °C, con una temperatura de mezcla de 279 °C. La alimentación fresca se envía a la piscina del Reactor Scrubber.

La alimentación al Reactor (R-101) proviene del slurry pumparound de la piscina del Reactor. Esta corriente es una mezcla de la alimentación fresca no vaporizada y del reciclo condensado en el Reactor Scrubber (C-101).

El Reactor Scrubber (C-101) está situado encima del Reactor (R-101) y tiene cuatro funciones principales: precalentar la alimentación fresca, enfriar el vapor del reactor, condensarlo para ser alimentado de vuelta al Reactor como reciclo, y lavar el coque del vapor del Reactor. La alimentación de residual de vacío fresco de entrada al Reactor Scrubber se precalienta antes de ser enviada al Reactor.

En el tope del Reactor Scrubber, se introduce HHKGO (proveniente del fondo de la Fraccionadora, C-201) como aceite de lavado para fraccionar adicionalmente los vapores ascendentes a la vez que se lava cualquier partícula de coque que haya llegado a la zona de despojamiento. Los vapores no condensados de cabeza del Reactor Scrubber continúan a la fraccionadora (C-201) para ser separados en los diferentes productos: gas, nafta de coque, LKGO y HKGO.

La reacción de craqueo térmico de la alimentación tiene lugar en el reactor R-101. La corriente de mezcla de alimentación y reciclo provenientes del Reactor Scrubber se inyecta a través de boquillas de atomización con vapor de alta presión al lecho del reactor donde se pone en contacto con el coque caliente circulante. Al tener varios niveles de atomización y al haber una penetración enérgica del chorro en el lecho del reactor se minimiza la posibilidad de humidificar demasiado el coque. A su vez se reduce la aglomeración de partículas y la producción de chunks de coque que pueden causar problemas de circulación. Estas reacciones rompen las cadenas de hidrocarburo de alimentación al reactor y vaporizan algunos de los productos de reacción. Los productos vaporizados ascienden por el reactor y se separan del coque que arrastren mediante los ciclones dispuestos en la parte superior del reactor. Los vapores abandonan los ciclones y entran al Reactor Scrubber mientras que el coque regresa al lecho del reactor.

El coque caliente del Heater se inyecta a la entrada de los ciclones como coque de scouring para ayudar a sobrecalentar los vapores del reactor, lo que evita la condensación y formación de coque en el interior de los ciclones. Además, las partículas de coque de scouring se encargan de barrer el coque que se pueda formar en el interior de los ciclones.

El lecho del reactor se encuentra fluidizado por los productos de reacción, el vapor de atomización introducido con la alimentación y el vapor de stripping que se inyecta en el fondo del reactor.

El vapor de stripping despoja los vapores de hidrocarburo impregnados en el coque del fondo del reactor antes de ser enviado al Heater. Con esto se minimiza la pérdida de productos líquidos al Heater y la posibilidad de ensuciamiento del sistema de cabeza del Heater con hidrocarburos condensados.

El Heater (R-102) transfiere el calor generado en el Gasifier (R-103) al Reactor (R-101) para mantener las reacciones de craqueo térmico. La temperatura del lecho del Heater depende principalmente del balance de coque hacia y desde el Gasifier.

El gas que abandona el Heater pasa a través de dos etapas de ciclones para retirar la mayor parte de las partículas de coque arrastradas que provienen del lecho. El diseño del ciclón se realiza para asegurar que la mayor parte de los metales provenientes de la alimentación de residual de vacío se purgan del sistema de reacción como finos de coque que continúan al sistema de cabeza del Heater.

En el Gasifier (R-103), se usa aire para quemar una porción del inventario de coque. Con esto se obtiene el calor necesario para la gasificación de la mayor parte de la producción de coque y para mantener el calor de reacción de craqueo térmico.

Estas reacciones de gasificación producen flexigas (FXG), que es una mezcla de N_2 , CO_2 , CO , H_2 , CH_4 y H_2O con algo de H_2S . Como se ha mencionado anteriormente, el flexigas y el coque que arrastra salen por la cabeza del Gasifier hacia el Heater a través de la línea de cabeza del Gasifier.

La mayoría de los metales provenientes del residual de vacío salen del Heater hacia la sección de cabeza del Heater en los finos de coque arrastrados por la corriente de flexigas. Adicionalmente, se retira coque de lecho del sistema para controlar la acumulación de metales en el coque y evitar la formación de escorias en el Gasifier. El coque de lecho se envía al Quench Vessel (D-101) donde se enfría con agua. Una vez enfriado, se envía por transporte neumático al Bed Coke Silo (D-401).

Normalmente alrededor del 95% del coque producido en el reactor se gasifica a flexigas y es aprovechado como combustible en la refinería.

El flexigas de cabeza del Heater se envía a la Sección de Cabeza del Heater para ser limpiado de coque y reducir el contenido en azufre. En la desulfuración del flexigas, la sección produce una corriente de gas ácido que se envía a las plantas de azufre.

Los finos de coque, que contienen la mayor parte de los metales de la alimentación, se recuperan también de la corriente de flexigas en la sección de cabezal de Heater. Una vez recuperados. Se envían a la sección de manejo de coque para ser entregado como producto.

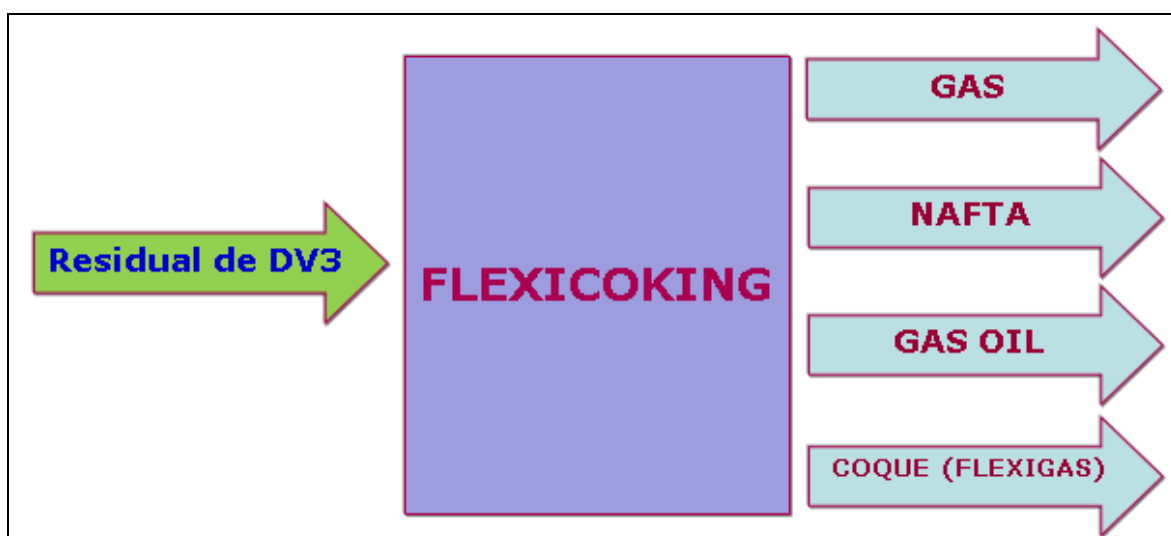


Figura N° 6: Diagrama de bloques unidad 100 - FCK

Fuente: Manual de procesos FCK (PETROPERU, 2017)

ii. Sección de fraccionamiento y recuperación de livianos (Unidad 200)

Sección de fraccionamiento: La función del fraccionador (Fx) es separar los productos de la conversión térmica en los cortes deseados para su posterior tratamiento. La operación es comparable a una torre atmosférica, siendo las corrientes recuperadas las siguientes:

- Nafta de Cabecera, la cual es parcialmente recuperada en el sistema de tope del fraccionador para utilizarla como reflujo a la torre. El producto total de cabecera es procesado en la sección de livianos para obtener gas de refinería, C3 producto, C4 producto, nafta liviana y nafta pesada del coquer.
- Gasóleo Liviano del Coquer, el cual es enviado para la unidad de hidrotratamiento para desulfuración y estabilización.
- Gasóleo Pesado del Coquer, enviado a hidrotratamiento para desulfuración. La fracción pesada de esta corriente debe controlarse para proteger el catalizador de las unidades de hidrotratamiento del mayor contenido de metales y Carbón contenido en estas fracciones.
- Una corriente pesada de aceite de lavado es utilizada como reciclo desde el fondo del fraccionador a la malla ubicada en el tope del depurador.

Sección de recuperación de livianos: La sección de compresión de gas y la unidad de recuperación de productos livianos está compuesta por un compresor centrífugo a turbina y ocho columnas de destilación que procesan los productos de cabecera del fraccionador, separándolos en gas combustible, olefinas y productos pesados. Uno de los objetivos del diseño consiste en maximizar la recuperación de C3 y C4, en tanto que simultáneamente se descartan el etano y los materiales más livianos hacia el sistema de gas combustible. Los materiales más pesados que el butano se separan en:

- Nafta pesada del Flexicoking, la cual es hidrodesulfurada, para luego ser enviada al fraccionador de nafta existente a fin de continuar su procesamiento.

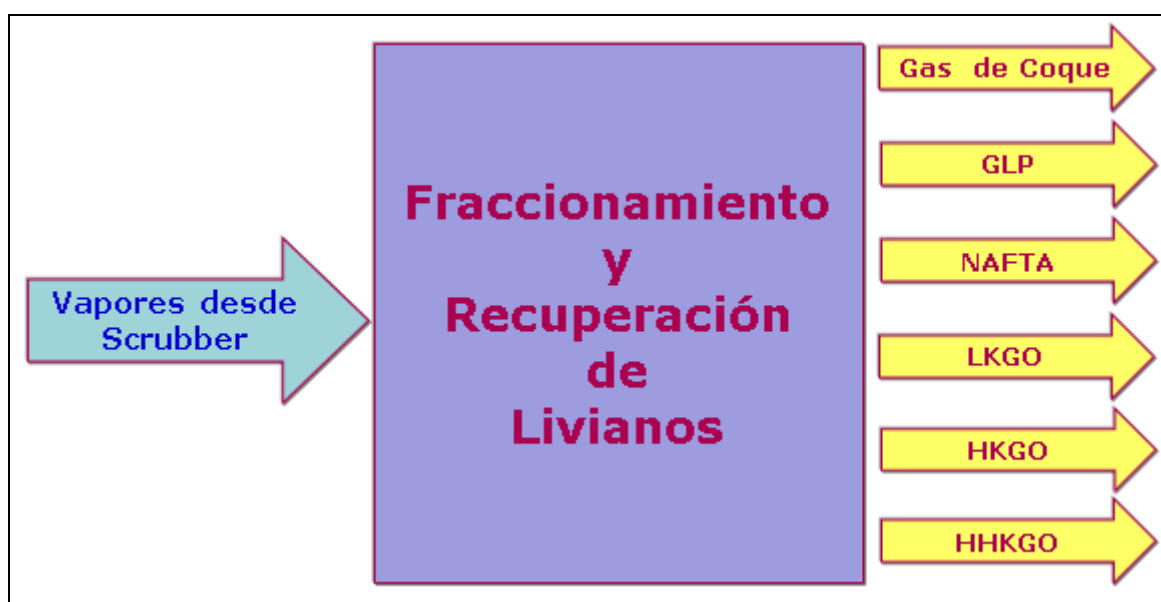


Figura N° 7: Diagrama de bloques unidad 200 - FCK

Fuente: Manual de procesos FCK (PETROPERU, 2017)

iii. Sección de cabeza del heater y flexsorb (Unidad 300)

El FXG y los finos de coque enfriados aguas arriba por el Pre-heater (E-103) a 215 ° C, entran en una única cámara que distribuye el FXG y el coque a diez ciclones internos. Por la fuerza centrífuga, aproximadamente la mitad de los finos de coque son recogidos por estos ciclones y separados del FXG.

Los finos de coque recogidos salen de la parte inferior de los ciclones a través de piernas truncadas y se recogen, pasado un tiempo, en el cono inferior del recipiente Tertiary Cyclone Vessel (D-301). El FXG (parcialmente separado de los finos de coque) sale de la parte superior de los ciclones hacia el Venturi Scrubber (SB-302) y el Venturi Separator (D-302) donde se seguirá separando de los finos de coque aún más.

Los finos de coque caen a través de una línea de transporte neumático que tiene un flujo continuo de aire de transporte refrigerado. La mezcla de coque/aire se envía al Coke Fines Silo (T-401), donde el coque se almacena temporalmente para su posterior venta.

El FXG y los finos de coque entran en el venturi scrubber a aproximadamente 214 °C y se ponen en contacto con una suspensión acuosa circulante (slurry) en la garganta del venturi scrubber.

La caída de presión a través de la garganta atomiza agua proporcionando un área superficial donde los finos de coque pueden ser capturados en las gotitas resultantes por impacto durante la mezcla de la corriente de FXG con el slurry en circulación. Las gotitas que contienen los finos de coque son lo suficientemente grandes para ser recogidas con una alta eficiencia en el venturi separator.

De la garganta del venturi scrubber el FXG y las gotas con los finos de coque húmedos pasan a través de un túnel de transferencia a la entrada tangencial del venturi separador en la sección inferior del tambor. Parte del slurry de agua a la garganta se vaporiza cuando entra en contacto con el FXG a 214 °C, enfriando el FXG a aproximadamente 84 °C en el venturi separator. El venturi separator actúa como un ciclón mandando las gotas más densas con finos de coque contra la pared del tambor por donde finalmente caerán hasta el fondo de la piscina.

El FXG entra en el FXG Scrubber a 42 °C con el contenido de azufre en su mayoría en forma de H₂S, ya que el COS se ha hidrolizado a H₂S en el COS converter.

El FXG entra en el scrubber a través de dos entradas que están separados 180 grados y luego fluye a través de una bandeja de chimenea para mejorar la distribución de FXG a través del lecho de relleno en el I scrubber. El FXG fluye hacia arriba y entra en contacto con la solución de amina pobre (bajo contenido de H₂S) a través del lecho de relleno. La cantidad de empaquetamiento necesario se estableció por el nivel de eliminación de H₂S requerido.

La amina pobre se distribuye en el lecho de relleno por un número de rociadores para conseguir una buena cobertura y un buen contacto con el FXG.

Los vapores de agua y H₂S despojados de la cabeza del Regenerator (a la que se le inyecta condensado frío) son enfriados/condensados en el aéro Regenerator (A-313A-D) y posteriormente enviados al Regenerador Reflux Drum (D-304) que separa el líquido como reflujo para el Regenerador en el D-304. El vapor del Regenerador Reflux Drum (off gas rico en H₂S) se envía a la planta de azufre de la refinería.



Figura N° 8: Diagrama de bloques unidad 300 – FCK

Fuente: Manual de procesos FCK (PETROPERU, 2017)

iv. Sección de Manejo de Coque Sólido y húmedo (Unidad 400)

En la unidad de Flexicoking se gasifica entre 88-92 % peso del coque producido durante craqueo térmico obteniéndose el gas de bajo poder calorífico (Flexigas).

Una cantidad del coque no gasificado es retirado por control de nivel hacia un recipiente donde es enfriado (elutriador) para luego enviarse neumáticamente hacia los silos de lecho en donde es almacenado temporalmente.

Posteriormente, estos silos son vaciados alternamente para disponer finalmente el coque en camiones cerrados para su posterior comercialización y/o almacenamiento en celdas destinadas para tal fin.

Otra parte del coque no gasificado es arrastrado por el Flexigas hacia el sistema de cabecera del calentador, en donde se recupera a través de dos etapas de remoción de sólidos.



Figura N° 9: Diagrama de bloques unidad 400 - FCK

Fuente: Manual de procesos FCK (PETROPERU, 2017)

Manejo de Coque Seco

El principal objetivo del sistema de manejo de coque sólido consiste en suministrar instalaciones para el acondicionamiento y almacenamiento de la producción neta de coque que normalmente se retira de la unidad.

El sistema de manejo de coque acondiciona la producción neta de coque normalmente retirado en la unidad minimizando la contaminación ambiental por la emisión de finos de coque a la atmósfera y reduciendo la concentración de coque en el agua de desecho enviada al sistema de cloaca.

- **Sistema de Carga de Coque Seco en Camiones**

La operación de carga de camiones es básicamente la misma tanto para finos de coque como para coque de lecho. La cantidad en kg de coque que se debe cargar en cada camión se introduce en la escala de peso y comienza la carga. Cuando se alcanza el peso programado, la válvula on/off cierra automáticamente. El camión debe ser colocado de nuevo para cada carga, y el peso deseado introducido en la escala.

El polvo generado durante la carga de camiones debe ser controlado con una manga de carga telescópica conectada a un colector de polvo de tipo filtro de mangas y con un ventilador de tiro inducido.

Cualquier gas de venteo desde la rampa de aire de coque de lecho o desde otra de las facilidades de carga serán también venteadas a través de este colector de polvo de filtro de mangas.

Dependiendo de cómo el coque fluye o se propaga dentro del camión, debe ser necesario cargar desde dos escotillas del mismo. Para evitar sobrellenado del camión, la manga de carga está equipada con un detector de nivel que también terminará la carga. (Ver figura n°10).

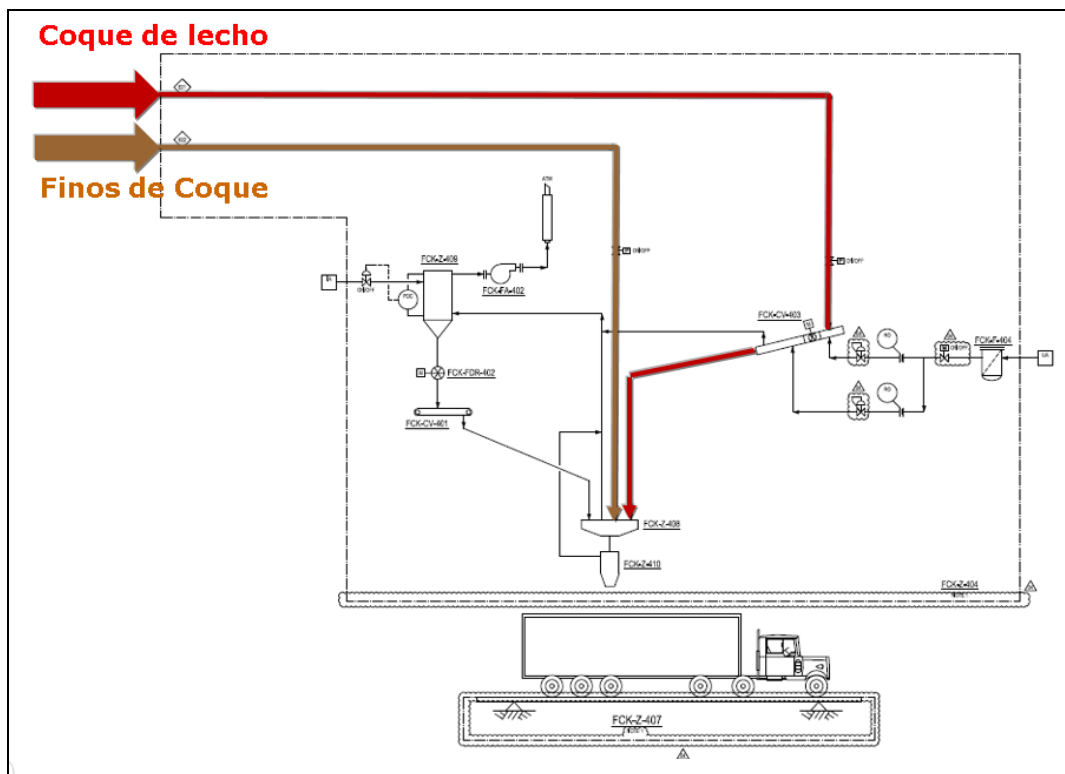


Figura N° 10: Manejo de coque de lecho y finos de coque

Fuente: Manual de procesos FCK (PETROPERU, 2017)

- Consideraciones de Higiene Industrial

Polvo de coque: El polvo de coque contiene metales. Se debe evitar una inhalación crónica de polvo de coque. Todos los sistemas de manejo de coque seco están cerrados para prevenir la exposición de los trabajadores.

El sistema de carga de coque seco utiliza una rampa de carga de camiones telescópica que está conectada al colector de polvo de la cámara de filtros. Las fugas de coque se deben limpiar inmediatamente.

Manejo de Coque Húmedo

El objetivo de la sección de coque húmedo es la reducción del contenido de agua de los lodos de agua/coque producidos en el Venturi Scrubber. El producto final de esta sección es una torta de filtrado con un contenido de sólidos cerca al 45%, y agua libre de sólidos, que son descargados en el sistema de tratamiento de aguas de desecho.

El coque de lecho es transportado desde el Quench Vessel al Bed Coke Silo mediante transporte neumático en fase diluida a la temperatura de salida del Quench Vessel, 200°C. El coque de lecho también se descarga directamente desde la sección. (Ver figura N° 11).

Los principales productos obtenidos en la Unidad de FLEXICOKING son: Gasóleos, Naftas, gas, coque fluido que a su vez es convertido en un gas combustible de bajo poder calorífico (Flexigas).

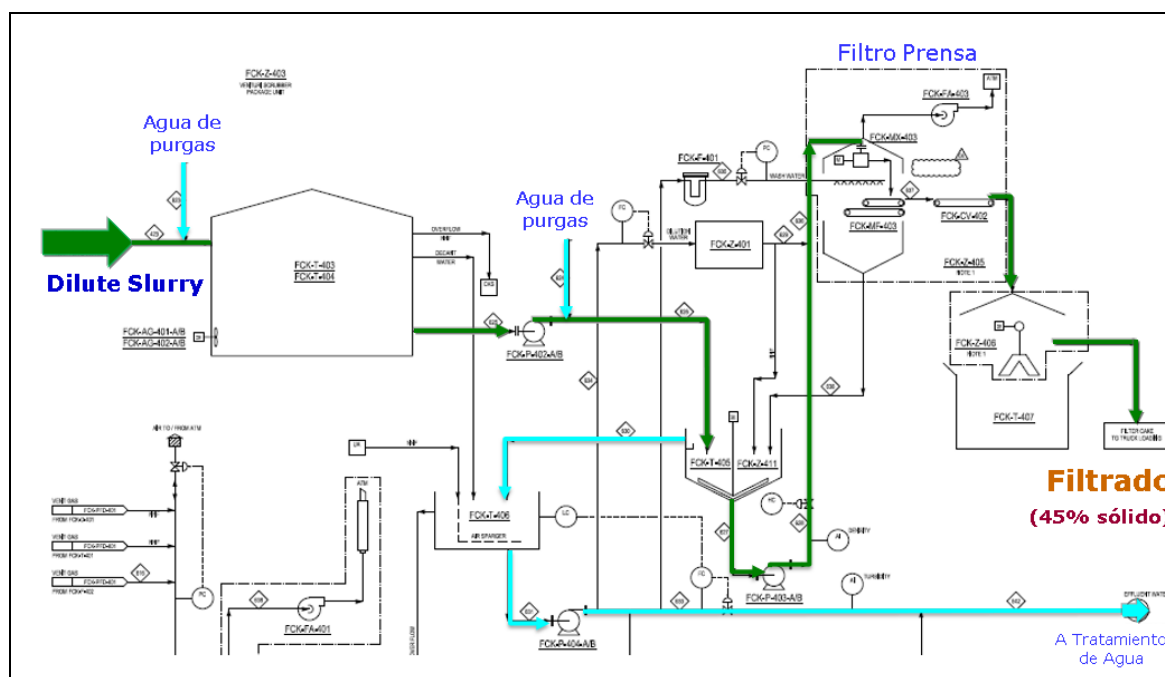


Figura N° 11: Manejo de coque húmedo

Fuente: Manual de procesos FCK (PETROPERU, 2017)

2.2.2 Descripción del Coque de petróleo

El coque del petróleo resulta de los procesos de refinación del petróleo crudo, en el sector lo llaman el “fondo del barril”. Cuando se extraen todos los líquidos queda el producto sólido, el cual está compuesto por un 85% de carbón, 10% de volátiles y 5% de azufre, y luce como una roca de carbón.

El coque crudo o verde, resultado directo de la planta de coquización y sin procesar, tiene mayor contenido de volátiles. Este coque puede ser pulverizado para facilitar su uso como combustible. También puede ser transformado, mediante diversos procedimientos, en variados tipos de coque para ser empleados con múltiples propósitos.

El coque de petróleo (petrocoque) es un subproducto de la industria de refinación de petróleo, el cual tiene alto poder calorífico y bajo precio. Debido a las cantidades cada vez mayores de petróleos pesados procesados, la producción de coque ha ido en aumento. La gran disponibilidad del coque de petróleo torna este subproducto atractivo para el sector industrial. No obstante, en la medida en que los petróleos son más pesados, sus densidades en grado API van disminuyendo y su contenido de contaminantes, principalmente los compuestos sulfurados, tienden a aumentar (Gorry K, 2011).

Tabla N° 3: Comparativa de Principales Características por Tipo de Combustible

Combustible	Valor calórico neto según combustible	Emisiones de CO₂
Carbón	11,000	96.301
Gas natural	22,163	55,525
Coque	13,880	98.817
Fuel oil N°6	17,279	76.593

Fuente: Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático-Cementos Lima

La calidad del producto final, adicional a la condición del coque, depende de la velocidad de producción, temperatura del horno, tiempo de residencia y el proceso de enfriamiento.

Uno de los tipos de coque es el ‘calcinado’, que resulta cuando el producto verde se somete al proceso de calcinación, lo que reduce su contenido de volátiles, estos elementos son aprovechados en la generación de vapor de agua. Se utiliza básicamente en termoeléctricas y cementeras. También se usa en la fabricación de ánodos en la industria del aluminio, titanio, y la producción de materiales plásticos y de aceros. Otra variedad es el coque grado de combustible, también llamado ‘catalizador’. Este producto es el más impuro, pues tiene un alto contenido de metales y azufre. Y aunque sea una buena opción generadora de energía, a nivel ecológico plantea serios inconvenientes. Generalmente es utilizado en la industria cerámica, cementera y eléctrica.

El petrocoque se utiliza normalmente, como materia prima para la obtención de carbono y como combustible para la generación de calor. Los petrocoques de bajo azufre (<1 %) se utilizan en la industria de elementos de carbono y del acero. En cambio, los de medio y alto azufre (2-8 %) son usados principalmente como combustible en calderas para la producción de vapor en generación eléctrica y procesos industriales y en hornos para la producción de cemento (Katz R, 2001).

2.2.2.1 Propiedades

- El coque de petróleo puede ser producido mediante tres procesos: el coquizado retardado, el coquizado en lecho fluido y el coquizado en lecho fluido con gasificación. (Ver Tabla n°4).

El coque de petróleo procedente del proceso de coquización retardado da cuenta de cerca del 93% de la producción mundial de coque, al ser dicho procedimiento el más usado. Este coque puede contener hasta 10,5% en peso de material volátil, lo que le confiere un olor característico a hidrocarburo.

El coque proveniente del proceso de coquización fluida da cuenta del 6% de la producción mundial de coque. Este coque normalmente posee menos material volátil que el coque retardado, y normalmente se presenta físicamente como granos esféricos con un diámetro menor a 1 cm.

El coque proveniente de lecho fluido con gasificación da cuenta del 1% de la producción mundial de coque de petróleo. Este coque se presenta físicamente en partículas de tamaño más pequeño que el coque ‘fluido’ y es más polvoriento debido a su menor contenido de material volátil.

Tabla N° 4: Composición comparativa entre procesos de coquizado

Composición	Proceso de producción de coque		
(% en masa)	Retardado	Lecho fluido	Lecho fluido con gasificación
C	87.9	86.3	94.3
H	3.51	2.2	0.3
H/C	0.47	0.31	0.04
N	1.61	2.4	1.1
S*	7.5	6.9	2.8
O	-	0.9	0
Cenizas	0.33	1.3	1.0
D (g/cm3)	2.00	0.80	0.96

**Información proveída por los licenciadores del PMRT*

Fuente: Análisis del consumo de coque en algunos sectores industriales (Información tecnológica No.2)

- Es similar al carbón mineral, bajo contenido de cenizas, con una concentración de azufre de entre 4 – 8 % en peso (alrededor del 40 – 60 % del azufre del petróleo crudo se concentra en el coque), y alto contenido de metales. Tiene un 15% más de poder calorífico que el carbón mineral.

Tabla N° 5: Especificaciones de diseño de la unidad FCK

<u>Componentes</u> (%WT)	<u>Bed Coke</u>	<u>Dry Coke</u>	<u>Wet Coke</u>
Carbón	94.880	92.990	89.150
Hidrogeno	1.000	1.000	1.000
Oxigeno	0.800	0.800	0.800
Nitrógeno	0.750	0.750	0.750
Azufre	1.010	1.010	1.010
Nickel	0.500	1.170	1.430
Vanadio	1.100	2.280	5.860
Total	100.08	100.00	100.00

Fuente: EXXON MOBIL

- Las propiedades varían de acuerdo con el proceso que se realice y su calidad depende de su composición química, contaminantes y dureza, lo que se mide por el índice molturabilidad Hardgrove (HGI), con el cual se determina su poder calorífico entre los 14.000 y más de 15.000 BTU por libra.
- El coque de petróleo es una excelente fuente de calor, por eso se usa para generar energía en calderas de la industria.
- Sustituye al gas y al combustóleo en la industria cementera y siderúrgica. También es utilizado como material para la fabricación de piezas en la industria del aluminio.

2.2.2.2 Ventajas y desventajas

- Sus grandes ventajas son el alto poder calorífico y el precio. Debido al incremento en los precios del gas natural, su uso se convierte en una buena opción en la industria.
- La gran desventaja de la conversión del coque de petróleo está presente en la emisión de contaminantes, especialmente por el óxido de nitrógeno, dióxido de azufre, azufre y metales.

Por eso la industria tiene el reto de desarrollar métodos y tecnología que permita disminuir los índices de contaminantes evitando su almacenamiento al aire libre por periodos muy largos de tiempo. Según expertos, la inhalación del polvo de coque puede afectar a largo plazo la salud creando problemas en el sistema respiratorio y a nivel dermatológico.

2.2.2.3 Mecanismos de formación de coque (Ruiz, H. 2014).

Los hidrocarburos componentes de un fondo de vacío que reaccionan para formar coque son los asfaltenos, las resinas y los aromáticos.

La fracción de asfaltenos de los fondos de vacío es una sustancia marrón a negra, no volátil, amorfa (no cristalina), presente como un coloide altamente disperso en el aceite. Los asfaltenos precipitan fácilmente al añadir un disolvente como n-hexano o n-pentano. Estos compuestos están formados por carbono, hidrógeno, nitrógeno, oxígeno, azufre, vanadio y níquel. Su peso molecular está entre 3.000 y 5.000. La concentración de asfaltenos en el fondo de vacío puede variar, y depende de la profundidad con que se corte el fondo.

La fracción resina de los fondos de vacío generalmente tiene una estructura similar a la de los asfaltenos. Las resinas son viscosas, pegajosas, y lo suficientemente volátiles como para ser destiladas con los hidrocarburos.

Las resinas son solubles en n-pentano, pero son insolubles en propano. Se diferencian de los asfaltenos por la presencia de mayores concentraciones de nitrógeno y azufre. El peso molecular promedio de las resinas es inferior al de los asfaltenos.

Los aromáticos contenidos en los fondos de vacío tienen una estructura relativamente simple. Estos están compuestos por aromáticos policíclicos de 6 carbonos.

- Coque. Existen dos mecanismos de reacción diferentes que forman coque bajo las condiciones de operación típicas de los reactores de coque.

En un caso, se pierde la sustancia coloidal característica de los compuestos de asfaltenos y resinas, y estos precipitan formando una estructura con una gran cantidad de enlaces cruzados de coque amorfo. Durante la precipitación y la formación de enlaces cruzados, los compuestos experimentan además una escisión de sus grupos alifáticos de acuerdo con una reacción de primer orden. Esto es puesto en evidencia por una diferencia significativa entre la concentración de átomos de hidrógeno en los compuestos de resina-asfaleno de la alimentación y aquella observada en el coque formado. La relación en peso carbono/hidrógeno aumenta desde un rango de 8/10 alimentación a 20/24 en el coque.

- El segundo mecanismo de reacción involucra la polimerización y condensación de aromáticos, los cuales concentran una gran cantidad de estos compuestos hasta el punto de que, eventualmente, se forma coque. El coque producido de esta manera contiene menos enlaces cruzados, y tiene una apariencia más cristalina que el coque tipo resina-asfaleno.

Los hidrocarburos componentes de un fondo de vacío que reaccionan para formar coque son:

- Asfaltenos: Compuesto formado por carbono, hidrógeno, nitrógeno, azufre, vanadio y níquel. Su peso molecular oscila entre 3000 y 5000. Sustancia marrón - negra, no volátil, amorfa, presente como un coloide altamente disperso en el aceite.
- Resinas: Son viscosas, pegajosas y lo suficientemente volátiles para destilarse con los hidrocarburos. Aunque su estructura es similar a los asfaltenos poseen mayor concentración de nitrógeno - azufre y su peso molecular promedio inferior.
- Aromáticos: Compuesto por aromáticos policíclicos de seis átomos de carbono.

Existen dos mecanismos de reacción diferentes para formar coque bajo las condiciones de operación típicas de los reactores de coquización:

- Coque Amorfo: Estructura con una gran cantidad de enlaces cruzados resultado de la precipitación de los compuestos de asfaltenos y resinas debido a la pérdida de su suspensión coloidal característica.
- Coque Cristalino: Producto de la polimerización y condensación de aromáticos, los cuales concentran una gran cantidad de compuestos hasta el punto en que, eventualmente, se forma el coque. Este coque contiene menos enlaces cruzados y tiene una apariencia más cristalina.

2.2.3 Producción mundial de coque de petróleo

Entre los países exportadores de coque de petróleo según United Nations; IEA; Eurostat (2017), la estadística muestra la distribución de la producción mundial de coque en el año 2017, por región. En ese año, la región de Asia produjo aproximadamente 526 millones de toneladas métricas de este mineral.

El Gráfico N°1 muestra la producción mundial de coque, considerando la participación porcentual por región productora de coque de petróleo (Dynamis).

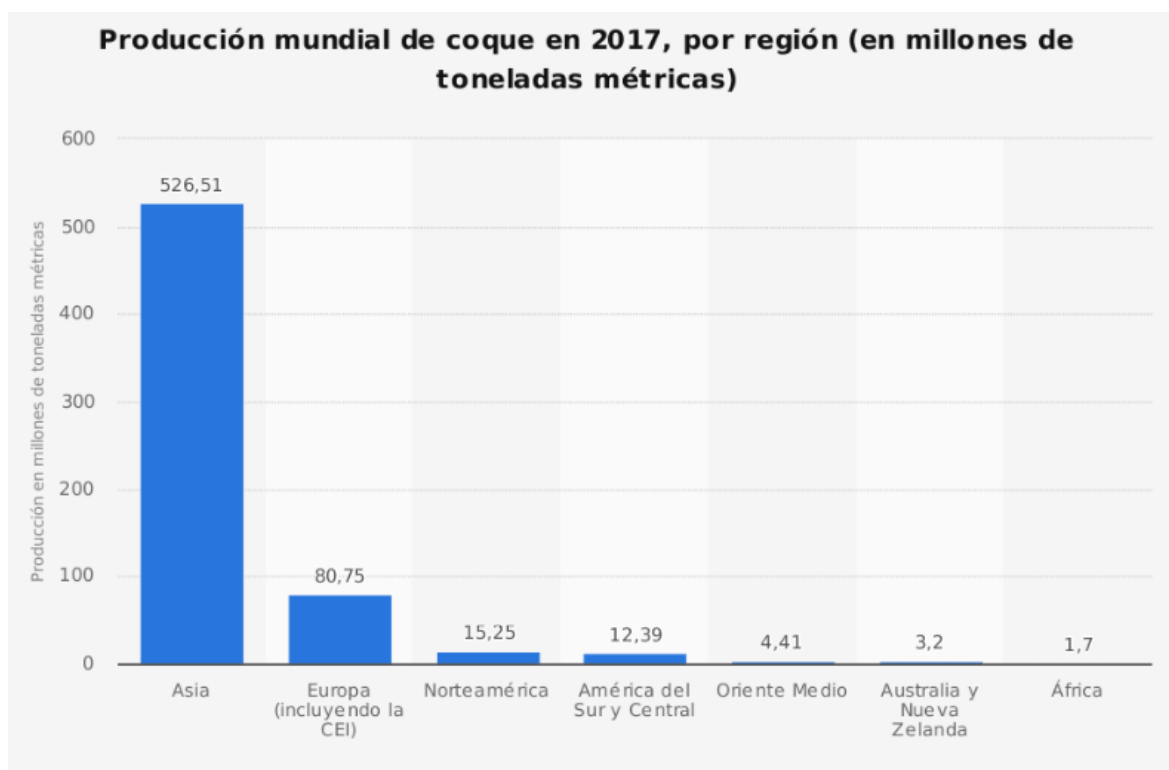


Grafico N° 1: Producción mundial de coque de petróleo

Fuente: United Nations; IEA; Eurostat; Various sources

2.2.4 Panorama del mercado de carbón y coque en el Perú

El Perú cuenta con atractivos recursos carboníferos (especialmente de antracita), no ha desarrollado su industria carbonífera a los niveles en que se ha desarrollado el resto de la industria minera. (Ver Tabla N°6).

Tabla N° 6: Estadísticas de importaciones de coque al Perú

Descripción del producto	Valor importado en 2014	Valor importado en 2015	Valor importado en 2016	Valor importado en 2017	Valor importado en 2018
Coque de petróleo, sin calcinar	8.615	3.593	9.845	7.058	11.126
Coque de petróleo, calcinado	342	207	261	126	252
Betún de petróleo	16	49	36	47	47
Residuos de los aceites de petróleo (exc. coque y betún de petróleo)	1	0	2	23	10

Unidad: miles Dólar Americano

Fuente: Cálculos del CCI basados en estadísticas de Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) desde enero de 2017.

Las proyecciones del Plan Referencial de Energía al 2014-2025 permiten prever que el Perú seguirá importando carbones térmicos y coquizables en volúmenes importantes.

No se vislumbra, algún tipo de exportación, pero si se espera un alto crecimiento de los requerimientos de carbón para las centrales térmicas. Los incrementos de los consumos de carbón importado son consecuencia casi exclusiva de la expansión del sector minero metalúrgico y la generación de electricidad.

El coque es un energético reductor y se emplea esencialmente en las industrias siderúrgicas y metalúrgicas.

En cuanto a la producción nacional de coque, Doe Run Perú, es la única empresa nacional productora de coque metalúrgico a partir del carbón mineral. Se espera un crecimiento sostenido de la producción nacional de coque.

Por otra parte, la mayor parte del coque consumido es importado por Siderperu, y se destina a la obtención del acero. Como resultado de los balances nacionales de energía proyectados, también se prevé que la importación de coque incrementará.

3 CAPITULO III: ANALISIS DE DISPOSICIÓN DE COQUE

El coque de petróleo puede clasificarse como: Green Coke (coque verde de petróleo) y Calcined Coke (coque calcinado).

Tabla N° 7: Niveles de Adición de Coque de Petróleo por Tipo de Tecnología

Equipo Térmico	Tecnología de Combustión	% de Petcoke comúnmente usado
Calderas de Centrales	Pulverización por suspensión	12 - 15% en mezcla
Térmicas	Lecho Fluidizado	Hasta 100%
Calderas de Proceso	Parrillas viajeras de carga superior	No es utilizado
Hornos de Cementeras	Largos (más de 100 metros)	40 a 50% en mezcla
	Cortos (aprox. 50 metros o menos)	12 a 15% en mezcla
Hornos para Hierro nivel de metales pesados	Pulverizado en horno rotatorio	40 - 50%, pero con S
Hornos para acero nivel de metales pesados	Alto – horno	100%, pero con S

Fuente: Centro de Investigación y Planificación del Medio Ambiente-Chile

3.1 USO COMBUSTIBLE COQUE

3.1.1 Uso en generación de energía

Al 31 de marzo de 2018, las generadoras que operan en el sector eléctrico peruano suman 56 en total. Algunas de ellas forman parte de grupos económicos liderados por compañías internacionales, las cuales les brindan un importante respaldo técnico y financiero. Asimismo, se observa que el Estado cuenta con una importante presencia en este sector, siendo accionista de Electroperú, la segunda generadora más importante en términos de producción de energía (12.53% del total al primer trimestre de 2018) y la cuarta de considerar la potencia efectiva (7.64% a diciembre de 2017).

La Tabla N°8 muestra el grupo económico que se encuentra detrás de algunas de las principales generadoras del sector, las mismas que representan el 80.3% de la potencia efectiva total a diciembre de 2017 (Equilibrium, 2018).

Tabla N° 8: Principales generadoras de energía en el Perú

Grupo Económico	Empresas
Compañías Públicas	Electro Perú
	Egasa
	Egamsa
	San Gaban
	Egesur
Enel	Enel Generación Perú Enel Generación Piura
Engie	Engie
Colbun Perú SA	Fénix Power
IC Power Perú	Kallpa
Odebrecht	Huallaga
Orazul Energy Perú	Orazul Energy Egenor Termoselva
Statkraft Perú Holding	Statkraft Perú

Fuente: Ministerio de energía y minas

El coque de petróleo es una alternativa rentable de combustible que puede ser quemado con éxito en calderos con tecnología CFB (Circulating Fluidized Bed), ya sea solo o en mezcla con carbón mineral.

La combustión en lecho fluidizado circulante (CFB) es una tecnología utilizada en el diseño de las centrales de energía de “carbón limpio”. Se desarrolló para encontrar un proceso de combustión capaz de controlar las emisiones contaminantes sin controles de emisión externos (tales como scrubbers).

La tecnología suspende combustibles sólidos por medio del soplado ascendente de aire durante el proceso de combustión.

El resultado es una mezcla turbulenta de gas y sólidos. La acción de fluidización, igual que un fluido burbujeante, ofrece reacciones químicas más efectivas y transferencia de calor.

La tecnología CFB controla las emisiones de dos maneras, en primer lugar, el combustible se quema a temperaturas de 1400 a 1700°F, que está muy por debajo del umbral donde se forman óxidos de nitrógeno. Segundo, el dióxido de azufre (un gas contaminante que se genera cuando el azufre del coque de petróleo se quema en presencia de oxígeno) es capturado dentro de la cámara de combustión por la quema del combustible con cal o dolomita.

La tecnología CFB permite la combustión eficiente del coque de petróleo. Numerosas referencias de aplicación se encuentran localizadas en Estados Unidos y China, alcanzando capacidades de 300MW, con la primera aplicación comercial que data de 1984. (Ver figura N°13).

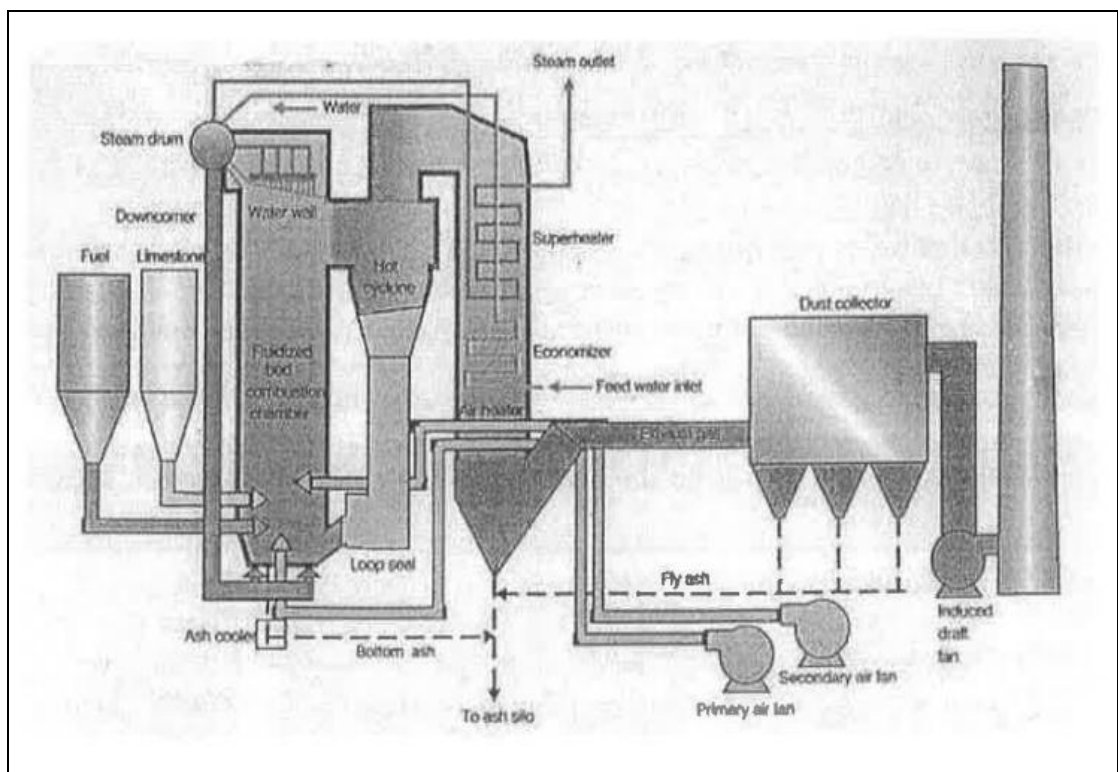


Figura N° 13: Diagrama simplificado de un caldero CFB

Fuente: B&W Babcock & Wilcox

El desarrollo de un proyecto de generación eléctrica a partir del coque producido en la Nueva Refinería Talara sería una alternativa viable para evaluación, considerando que podría ser realizado con inversión de terceros.

La capacidad de la planta a evaluar para Refinería Talara sería de 10 – 15 MW, utilizando calderos con tecnología CFB (Circulating Fluidized Bed), dado que la producción estimada de coque es de 125 TM/día en FCK.

3.1.2 Uso en la Industria Cementera

El mercado de cemento en Perú es gestionado por cuatro grupos empresariales y seis empresas productoras de cemento:

- Cementos Pacasmayo y Cementos Selva se enfocan en los departamentos de Amazonas, Áncash, Cajamarca, La Libertad, Lambayeque, Piura, Tumbes, Loreto y San Martín.
- En la zona sur del país se encuentra el Grupo Rodríguez Banda, que opera a través de las empresas Cementos Yura y Cementos Sur con base en la ciudad de Arequipa.
- En la zona centro se encuentra la productora de cemento Unacem perteneciente al Grupo Rizo-Patrón, y Cementos Inca que pertenece al Grupo Choy.

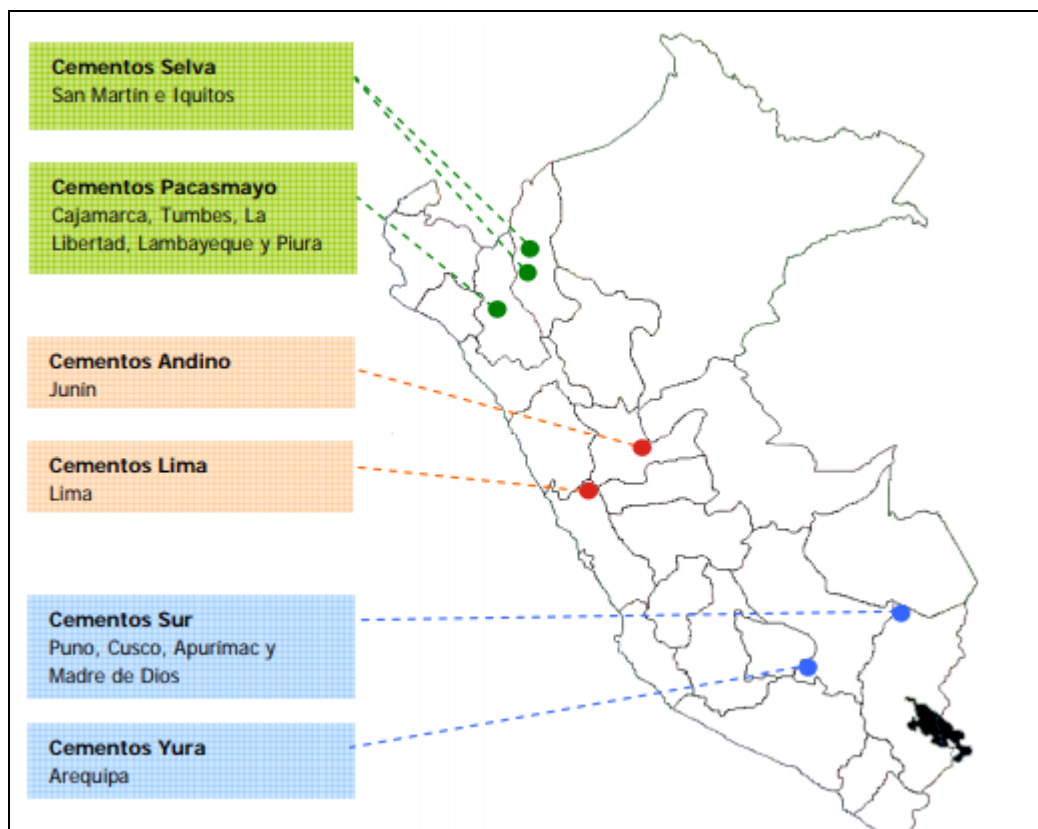


Grafico N° 2: Zona de Influencia Geográfica de las Empresas Cementeras en el Perú

Fuente: Empresas

Elaboración: Propia

Cementos Pacasmayo cubre la demanda de las regiones del norte del país, para lo cual cuenta con sus plantas de producción en la provincia de Pacasmayo (La Libertad) y Piura, teniendo significativa presencia en los mercados de Tumbes, Piura, Lambayeque, La Libertad, Cajamarca, Ancash. Asimismo, mediante su subsidiaria Cementos Selva cubre los requerimientos en la zona nor oriental del país.

Cementos Lima cuenta con una ubicación geográfica estratégica frente al resto de participantes en el mercado, debido a que cuenta con su planta de producción en Lima, región donde se vienen llevando a cabo la mayoría de proyectos de infraestructura y con alta densidad poblacional.

En tanto, Cementos Yura atiende los requerimientos de la demanda de las regiones del sur del país, juntamente con Cementos Sur (subsidiaria de la primera). La primera se ubica en la región de Arequipa, mientras que la segunda en Puno.

El uso dominante de energía en la industria del cemento es el combustible para hornos rotatorios (rotary kiln) de producción de Clinker. En promedio, los costos de energía en combustible y electricidad representan aproximadamente el 50% del costo total de producción del cemento.

La energía requerida para los diferentes tipos de proceso de combustión y hornos rotatorios oscila entre 740 – 1000Kcal/Kg Clinker.

El coque de petróleo puede ser utilizado como un combustible alternativo en los hornos rotatorios y en el sistema de precalentamiento para producir las altas temperaturas requeridas para la obtención del Clinker.

Las industrias cementeras están haciendo esfuerzos para disminuir sus costos de producción, un método efectivo es la sustitución de los combustibles tradicionales tales como carbón mineral, residual y gas natural por coque de petróleo. La principal ventaja del coque de petróleo es su bajo precio y alta disponibilidad debido a que es un subproducto de las refinerías de petróleo. (Ver figura N°14).

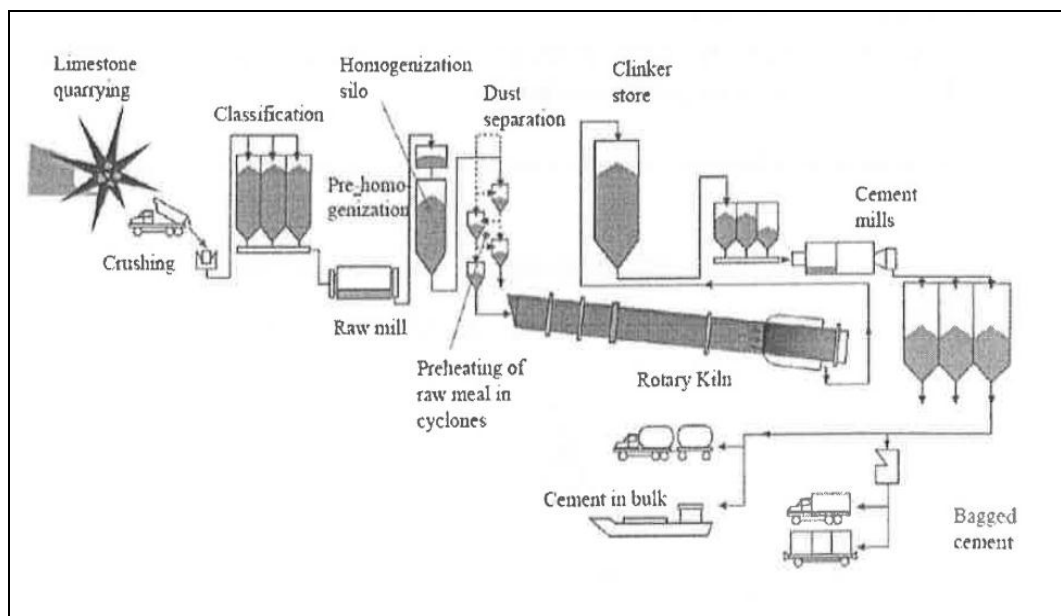


Figura N° 14: Diagrama simplificado de la producción de cemento

Fuente: Cement manufacturing process (Kaantee et al 2004)

La principal dificultad en la combustión del coque de petróleo es su baja reactividad debido a su bajo contenido de volátiles. Su alto contenido de azufre puede presentar dificultades operacionales durante su combustión, para evitarlo se recomienda adicionar pequeñas dosis de caliza para reducir el azufre.

El nivel de rentabilidad y competitividad de las cementeras depende fundamentalmente de su estructura de costos, que está constituido por el costo de materias primas y transporte, costo de energía y combustibles.

3.1.3 Uso en la industria metalúrgica y/o siderúrgica

Corporación Aceros Arequipa, juntamente con la Empresa Siderúrgica del Perú–Siderperú, constituyen las dos únicas empresas siderúrgicas del país. Ambas empresas comparten el abastecimiento del mercado nacional de productos largos (barras de construcción, alambrón, perfiles), siendo Corporación Aceros Arequipa el principal productor con una participación del 62%, mientras que el 38% restante lo concentra Siderperú.

En el caso de productos planos (planchas y bobinas), la mayor parte de estos productos son importados y destaca Aceros Arequipa y Siderperú con participaciones de 11% y 21% respectivamente.

El coque de petróleo tiene alto contenido de carbón, bajo material y alto poder calorífico que lo hace atractivo para aplicaciones metalúrgicas.

El coque de petróleo se utiliza como aditivo a las mezclas destinadas a la producción de coques metalúrgicos por los fabricantes de coques de todo el mundo, desde 1940.

Sin embargo, este uso no se ha mantenido de forma continua, sino que, dependiendo de los precios del coque de petróleo en comparación con el de los carbones coquizables con contenidos medios y bajos de volátiles, se considera o desestima su utilización, según que dicho precio fuera más bajo o más elevado que el de estos últimos.

La utilización de coque de petróleo a lo largo de los años se ha realizado con bastante éxito, tanto en lo que respecta al ahorro económico como a la mejora de la calidad de los coques metalúrgicos obtenidos.

En este sentido, uno de los factores a considerar es la cantidad óptima de coque de petróleo que se debe añadir.

La industria siderúrgica no utiliza coque de petróleo, sino principalmente coque metalúrgico, insumo indispensable en la fabricación del arrabio (hierro fundido primario) en el alto horno, y que se obtiene a partir de carbón mineral. Lo anterior explica los elevados niveles de importación de coque de hulla. Sin embargo, hay que tener en cuenta que, de acuerdo con la experiencia internacional, el sector siderúrgico puede utilizar en pocos volúmenes el coque de petróleo en la generación de calor en los altos-hornos. No obstante, dicha utilización está restringida por el requerimiento técnico de que el combustible en cuestión debe poseer un bajo contenido de azufre en su composición. A nivel internacional, en la siderurgia, el coque de petróleo no calcinado también se utiliza, en muy pocos volúmenes, en la inyección de finos de carbón a los altos hornos, sin embargo, la industria nacional no cuenta actualmente con este sistema.

En cualquier caso, ha de tenerse en cuenta que el contenido de azufre del coque de petróleo va a ser un factor limitante de la cantidad a adicionar en el caso de los coques metalúrgicos.

El flexicoque puede ser utilizado en la industria peruana del acero como agente de piroconsolidación durante la manufactura de pellets de óxido de hierro, mejorando su resistencia mecánica, nivel de porosidad y reducibilidad, cuando es adicionado hasta 1%.

El coque cumple dos funciones principales en el alto horno: aporta carbono como medio reductor y aporta energía para la combustión. (Ver figura N°15).

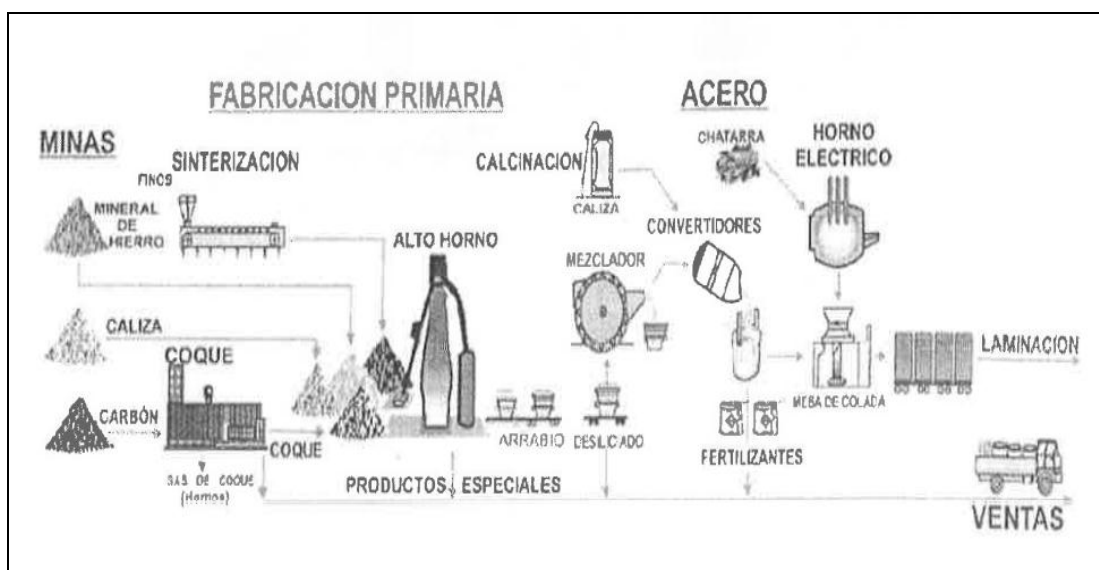


Figura N° 15: Diagrama simplificado de la fabricación del acero

Fuente: Siderúrgicas PERU

Las principales líneas de producción de la industria la constituyen los productos planos que son demandados por el sector construcción y los productos planos demandados principalmente por el sector metalmecánico.

SIDERPERU se dedica a la fabricación y comercialización de productos terminados de acero “no planos” (barras corrugadas, alambra para la construcción y otros), como “planos” (planchas de acero, bobinas, entre otros), mientras que Corporación Aceros Arequipa se dedica a la producción de productos “no planos”.

Con respecto al proceso de producción, Corporación Aceros Arequipa emplea la tecnología del horno eléctrico, mientras que SIDERPERU utiliza una tecnología de producción basada mayoritariamente en el alto horno, además de poseer la tecnología del horno eléctrico.

El horno eléctrico permite la diversificación de la producción en lotes pequeños y tiene costos fijos bajos, mientras que el alto horno tiene costos fijos altos y costos variables bajos. Con respecto a los insumos, el horno eléctrico utiliza principalmente hierro esponja y chatarra, a diferencia de horno alto que utiliza coque y hierro.

Doe Run Perú, utiliza coque metalúrgico para sus operaciones del complejo metalúrgico de la Oroya. El complejo metalúrgico de la Oroya está compuesto de un conjunto de fundiciones y refinerías diseñadas para transformar mineral poli metálico.

3.1.4 Uso en producción de coque calcinado

El coque de petróleo calcinado es un ingrediente fundamental en la producción de aluminio. Se produce mediante la colocación de coque verde de petróleo en hornos rotatorios, donde se calienta a temperaturas de entre 1200 a 1350°C.

La alta temperatura elimina el exceso de humedad, extrae todos los hidrocarburos restantes y modifica la estructura cristalina del coque, lo que resulta en un producto más denso y más conductor de la electricidad.

El coque de petróleo calcinado tiene una estructura similar a una esponja que desempeña un papel importante en la fabricación de ánodos. Los poros permiten que el material de unión penetre a través de las partículas de coque y forme un bloque de carbón sólido, a través del cual las fundiciones de aluminio conducen la electricidad en sus ollas de fundición.

3.1.5 Exportación de coque de petróleo

La producción mundial de coque de petróleo (incluido el petcoke de grado combustible y el coque de petróleo calcinado), aumentó durante el decenio de 1990, llegando a 78 millones de TM en el 2004 frente a aproximadamente 44 millones de TM en el 1993. Esto representa una tasa de crecimiento anual promedio de más de 5,34%. En 2007 la producción ascendió a 86,8 millones de TM. El conductor detrás de este crecimiento es el crecimiento continuo de la demanda de productos refinado. Al 2017, se produjeron aproximadamente 644 millones de TM de coque a nivel mundial. (STATISTA).

Una alternativa para el coque de petróleo de FCK sería la exportación a través del puerto de Paita el cual está localizado en la provincia de Paita, a 56 Km de la ciudad de Piura, es el principal puerto del norte peruano, movilizandoo contenedores de importación y exportación.

Los principales exportadores de Coque de Petróleo son los Estados Unidos (\$3,96 Miles de millones), Corea del Sur (\$1,39 Miles de millones), España (\$933 Millones), Canadá (\$864 Millones) y Singapur (\$845 Millones). Los principales importadores son China (\$2,23 Miles de millones), la India (\$1,65 Miles de millones), los Estados Unidos (\$1,13 Miles de millones), Malasia (\$654 Millones) y Japón (\$648 Millones). (Simoes).

Tabla N° 9: Principales exportadores de coque en el mundo

Países	Porcentaje
Estados Unidos	24%
Corea del Sur	8.5%
España	5.7%
Canada	5.3%
Singapur	5.2%
China	5.0%
Alemania	4.9%
Indonesia	4.4%
Países bajos	2.8%
Arabia Saudita	2.6%
Italia	2.4%
Malasia	2.1%
India	2.0%
Reino Unido	1.8%
Emiratos Arabes Unidos	1.7%
Iran / Suecia	1.6%
Rusia / Venezuela	1.4%

Fuente: Observatory of economic complexity (Simoes)

La oferta y la demanda de coque de petróleo en el mundo son básicamente equilibrada, el coque de petróleo con altos contenidos de azufre es generalmente utilizado como combustible en las centrales eléctricas y en los centros de producción de cemento. El coque de petróleo con contenido medio de azufre se utiliza principalmente en la fundición, en los sectores de fundición acero y aluminio. A nivel mundial, el sector cementero es el mayor consumidor de coque de petróleo, concentrando alrededor del 50% de la demanda mundial de coque de petróleo. El sector de plantas termoeléctricas se presenta como el segundo consumidor de coque de petróleo, concentrando el 28% de la demanda. Por tanto, los principales demandantes de coque de petróleo estarían constituidos por el sector cementero y de generación eléctrica.

Esto indica que la demanda de coque de petróleo presenta poca diversificación. China, utiliza el coque de petróleo para la producción de acero. En China, además con el rápido desarrollo de la industria de fundición de aluminio, la demanda de coque de petróleo aumentará aún más. En EE. UU. alrededor del 90% de coque se utiliza en el sector de la energía y centrales eléctricas. En Italia y España el coque de petróleo se utiliza principalmente como combustible en la industria del cemento. Se espera que la demanda de coque en el mundo podría incrementarse a una tasa promedio anual de 2,5% en las próximas dos décadas (STATISTA).

4 RESULTADOS DEL ANÁLISIS

4.1 COMERCIALIZACIÓN A CEMENTERAS

4.1.1 Perspectivas de la Demanda y Precios de Coque de Petróleo

En la industria del cemento es el principal consumidor de coque de petróleo en todo el mundo, seguida de la industria de energía eléctrica. Se espera que la demanda de la industria de cemento mantenga el ritmo de crecimiento económico, mientras que la demanda de la industria de generación de energía depende de los precios relativos de carbón y coque de petróleo. No obstante, se espera que la industria del cemento no sea capaz de absorber los aumentos en la producción. La demanda de coque de petróleo es normalmente equivalente al suministro de coque de petróleo, dado que las refinerías como los comerciantes de coque de petróleo mueven el precio a fin de que pueda ser accesible a la demanda. La falta de espacio para almacenar coque de petróleo es el factor clave detrás de la voluntad de las refinerías a bajar el precio del coque de petróleo, para garantizar su venta. Además, como los ingresos provenientes del coque de petróleo son una parte muy pequeña de los ingresos totales, hay poco incentivo para las refinerías para ampliar la reserva de espacio. En cambio, los precios pueden adaptarse rápidamente a los cambios en el equilibrio oferta - demanda. Por lo tanto, si la oferta disponible de coque de petróleo supera la demanda, es probable que los precios del coque de petróleo bajen. Sin embargo, los precios de coque de petróleo también son susceptibles de ser muy volátiles, por razones que son algo similares a las razones por las cuales los precios de otros productos básicos industriales (como los productos químicos y plásticos) también son volátiles. Los productos químicos y los plásticos son "demanda derivada" de productos básicos (es decir, la demanda de estos productos se deriva de la demanda de otros productos básicos en el resto de la economía), lo que significa que la demanda de estos productos es difícil de predecir y puede cambiar muy pronto. A pesar de que el coque de petróleo no es una mercancía con "demanda derivada", es una mercancía "derivada del suministro", y por tanto, los precios están sujetos a una considerable volatilidad. En el mediano y largo plazo se espera que la demanda de coque en el mundo podría incrementarse. Por tanto, se podría esperar una presión a la baja en el precio del coque de petróleo dado que el crecimiento de la oferta sería mayor que la demanda.

No obstante, hay otros factores a tomar en cuenta, como, por ejemplo, la tendencia natural al alza en los precios de los hidrocarburos que presionaría no solo en el mayor precio del coque de petróleo sino de todos los precios de la economía, y en este sentido el coque de petróleo es muy sensible a las variaciones del precio del petróleo.

Hay tres fuentes de incertidumbres en el futuro del precio: (1) la volatilidad del mercado a corto y mediano plazo debido a las fluctuaciones de la demanda y la oferta inelástica, (2) las tendencias de los costos de la minería y la productividad, debido a que el alza del costo en insumos como mano de obra, materiales y combustibles son críticos para la industria minera y la consiguiente explotación de minerales como el carbón (sustituto del coque) y (3) los cambios regulatorios, como las nuevas normas y restricciones sobre las emisiones o el CO₂. Dependiendo de la severidad de tales restricciones, la demanda de coque de petróleo puede disminuir en el largo plazo.

4.1.2 Justificación

En el periodo 2014 - 2025 se espera que el consumo de combustibles líquidos pase de 209 miles de barriles día (MBD) a 285 MBD o, en otro escenario, de 212 a 339 MBD, por lo cual es necesario impulsar el desarrollo de una infraestructura logística de distribución de combustibles para abastecer a los mercados regionales y, en especial, a los sectores que promueven el crecimiento económico, así como continuar con una política de precios de hidrocarburos que siga la tendencia del mercado internacional, evitando distorsiones en el mercado interno de combustibles. En ese sentido los proyectos de modernización de las refinerías de Talara y La Pampilla son de gran importancia (Plan energetico 2014-2025).

Las plantas cementeras alrededor del mundo utilizan normalmente combustibles fósiles para su operación (carbón, coque de petróleo, mezcla de ambas) y solamente usan el gas natural como una excepción.

La tecnología actual de los Hornos de Clinker (elemento que utiliza directamente el combustible) esta adecuada para utilizar el coque de petróleo de forma eficiente.

Las compañías cementeras pueden alcanzar las ganancias de la eco eficiencia de diferentes maneras:

- Procesos optimizados: Reducir el uso de combustible y material y minimizar la polución al incrementar continuamente la eficiencia de equipos y procesos de manufactura.
- Co-procesamiento de desechos y energía / Recuperación de material: Al utilizar los desperdicios y subproductos de otras industrias como combustibles y materias primas para la fabricación del cemento, se crean circuitos cerrados de uso de recursos.
- Eco innovación: Utilizando conocimiento y tecnología nueva para fabricar productos de cemento con un incremento de recursos eficientes para producir y usar.

4.1.3 Caracterización de los combustibles de los hornos de cemento

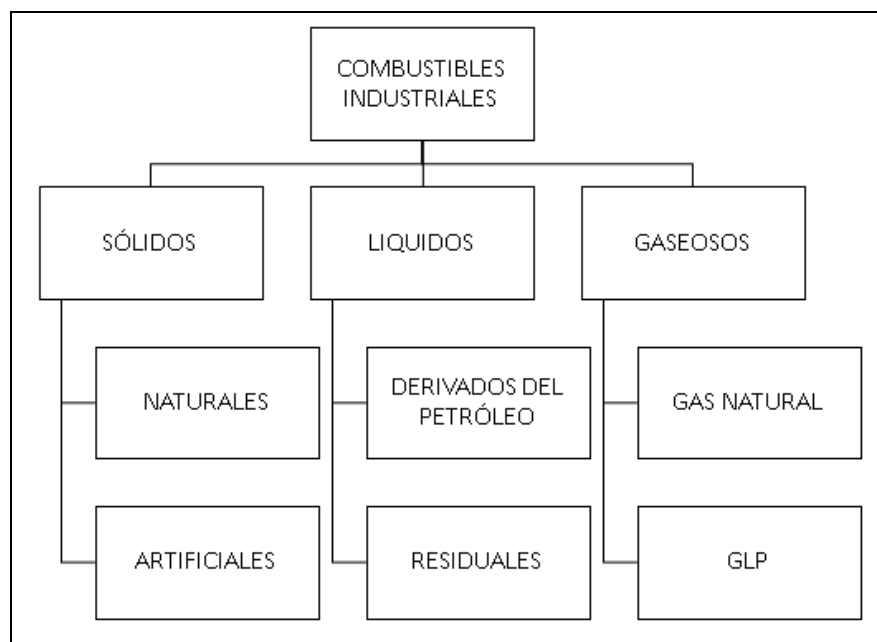


Grafico N° 3: Tipos de combustibles de los hornos de cementos

Fuente: Propia

4.1.3.1 Combustibles líquidos

- Gas óleo y fuel oíl: Obtenidos de la destilación del petróleo o como residuos de este proceso.
- Residuales: Se obtienen en algunos procesos industriales, como la fabricación de papel, realizándose su combustión en hogares especiales en la propia fábrica.

4.1.3.2 Combustibles gaseosos

- Gas Natural: Se encuentran en yacimientos similares a los del petróleo. Su componente principal es el metano, formando una mezcla con el etano, propano y butano además de otros compuestos. Las proporciones de cada componente son muy variables.
- Gases licuados del petróleo (GLP): Se obtienen en las operaciones de refino del petróleo. El propano debido a su mayor presión se emplea principalmente en la industria.

4.1.3.3 Combustibles sólidos

- Maderas: La madera no presenta un gran interés en la industria como combustible. Sin embargo, si se la calienta en ausencia de aire, se obtiene el carbón de madera, utilizado como absorbente en la industria química y como reductor en la metalurgia.
- Turbas: Son masas fibrosas de materia vegetal parcialmente descompuesta, que se ha acumulado en lugares inundados de agua. Generalmente se utiliza localmente como combustible pobre. Su composición es de 92.12% de materia orgánica, 7.88% de ceniza y 0.85% de nitrógeno.
- Antracita: Es el carbón más duro y denso, tiene un contenido de calor elevado. El % de carbono en promedio varía de 86% a 98%.
- Bituminoso: Son los carbones que presentan un mayor interés, tanto como portadores de energía como materia prima en la industria química y metalúrgica. En su composición el % de carbono varía de 45 a 80% aproximadamente.

- **Lignitos:** Bajo esta denominación se engloban muy diversos tipos de carbones, aunque suelen agruparse en dos categorías: lignitos pardos y lignitos negros. Suelen consumirse en centrales térmicas situadas a bocamina. En su composición el % de carbono es menor a 45% aproximadamente.
- **Sólidos artificiales:** Se obtienen fundamentalmente al someter a un combustible sólido a la acción del calor sin contacto con el aire. Se queman en casos muy específicos y normalmente ayudando como reductores al proceso. Exclusivamente como combustibles se utilizan cuando son subproductos en la fabricación de gas.
- **Coque:** Residuo duro y poroso que resulta después de la destilación destructiva del carbón; tiene un color gris negruzco y un brillo metálico. Contiene fundamentalmente carbono, alrededor del 92%, casi el 8% restante es ceniza, el valor calorífico del coque es muy elevado.

Tabla N° 10: Clasificación de carbones por categoría

Clase	Grupo	Carbón fijo % base seca		Materia volátil % base seca		Poder calorífico base húmeda Kcal / kg	
		Igual o mayor que	Menor que	Mayor que	Igual o menor que	Igual o mayor que	Menor que
Antracita	Metaantracita	98			2		
	Antracita	92	98	2	8		
	Semiantracita	86	92	8	14		
Bituminoso	De volatilidad baja	78	86	14	22		
	De volatilidad media	69	78	22	31		
	Tipo A de alta volatilidad		69	31		7780	
	Tipo B de alta volatilidad					7200	7780
	Tipo C de alta volatilidad					6100	7200
Subbituminosa	Tipo A					6100	7200
	Tipo B					5270	6100
	Tipo C					4600	5270
Lignítica	Lignito A					3500	4600
	Lignito B Carbón Pardo						3500

Fuente: Annual book of ASTM Standards D 388-1999

4.1.4 Ventajas y desventajas del uso de coque como combustible

4.1.4.1 Ventajas del uso de coque como combustible

- Alto poder calorífico: 8000 Btu/Kg.
- Alta estabilidad química (bajo potencial de explosión).
- Bajo contenido de cenizas y humedad.
- Costos asociados menores al carbón.
- Alto inventario disponible.

4.1.4.2 Desventajas del uso de coque como combustible

- Baja propagación de llama.
- Alto contenido de azufre y metales (níquel y vanadio).
- Alta emanación de polvos y gases que requieren mayor control.
- Requerimiento de áreas para almacenamiento y procesamiento.

4.1.5 Implementación

Se toma en cuenta como propuesta de todas las plantas productoras de cementos en el Perú, la planta Cementos Pacasmayo (Piura) por siguientes factores a tomar en cuenta para la implementación el cambio de tipo de combustible:



Figura N° 16: Planta cementos Pacasmayo Piura

Fuente: CEMENTOS PACASMAYO PIURA

4.1.5.1 Producción de cementos

La producción de cemento en la planta de Pacasmayo alcanzó las 1,155,314 TM (superior a las 1,141,292 TM producidas en el 2017), principalmente por el incremento de la demanda. Para producir esta cantidad de cemento se utilizaron 842,425 TM de clinker y 312,889 TM de adiciones tales como yeso, escorias de alto horno, puzolana y caliza.

La producción de la planta de Piura fue de 917,926 TM (7% superior a las 857,942 TM producidas en el 2017), principalmente debido a la recuperación de la demanda en la parte Norte del país luego del Fenómeno El Niño Costero en el 2017. Para producir esta cantidad de cemento se utilizaron 668,819 TM de Clinker y 249,107 TM de adiciones. La producción total de Clinker fue de 1'717,991 TM.

Tabla N° II: Capacidad de producción Cementos Pacasmayo

Año	2014		2015		2016	
Cifras en millones	Clinker	Cemento	Clinker	Cemento	Clinker	Cemento
Capacidad de producción	1.780	3.340	1.780	4.940	2.780	4.940
Pacasmayo	1.500	2.900	1.500	2.900	1.500	2.900
Rioja	280	440	280	440	280	440
Piura	-	-	-	1.600	1.000	1.600
Producción	1.242	2.350	1.202	2.333	1.730	2.276
Pacasmayo	1.014	2.054	967	1.884	887	1.177
Rioja	228	296	235	288	214	282
Piura	-	-	-	161	629	817
Capacidad utilizada	69.78%	70.36%	67.53%	47.23%	62.23%	46.07%
Pacasmayo	67.60%	70.83%	64.47%	64.97%	59.13%	40.59%
Rioja	81.43%	67.27%	83.93%	64.45%	76.43%	64.09%
Piura	-	-	-	10.06%	62.90%	51.06%

Fuente: Cementos Pacasmayo

4.1.5.1.1 Clientes

Los clientes de la compañía se clasifican de la siguiente manera:

- Asociados. Son comerciantes que se dedican a la venta de materiales de construcción cuyos clientes son consumidores finales y otros comerciantes. La compañía mantiene con ellos un contrato de representación comercial bajo la condición de presentar sus locales de determinada manera ante los clientes. La Distribuidora Norte Pacasmayo (DINO) se compromete a otorgarles una serie de beneficios comerciales, y capacitaciones.
- Comerciantes No Asociados. Son comerciantes dedicados a la venta de materiales de construcción, pero no pertenecen a la red de asociados DINO. Realizan sus compras de manera directa a través de DINO o un cliente asociado.
- Tiendas para el Mejoramiento del Hogar. Entre los productos que comercializan, figuran también los materiales de construcción, los cuales son comprados de manera directa a DINO. (Reporte de Sostenibilidad 2012 de la empresa Cementos Pacasmayo S.A.A., p. 19).

4.1.5.1.2 Productos

La compañía produce y expende los siguientes productos:

- Cementos Selva S.A.: Produce y expende cemento y otros materiales de construcción.
- Distribuidora Norte Pacasmayo S.R.L. (DINO): Expende cemento y materiales de construcción. Produce y comercializa agregados, bloques y ladrillos de cemento, concreto premezclado.
- Fosfatos del Pacífico S.A. (Fospac): Se encuentra desarrollando un proyecto de fosfatos en Bayóvar - Piura.
- Salmueras Sudamericanas S.A.: se creó para desarrollar un proyecto de explotación, procesamiento y comercialización de minerales contenidos en salmueras, ubicadas en concesiones mineras en Piura y Lambayeque.

4.1.5.2 Infraestructura y Servicios

a) Área de despacho Refinería Talara:

- Manejo de coque seco: El sistema de transporte de coque consta de las diversas tuberías y equipos necesarios para transferir el coque desde y hacia las zonas de los Sólidos Fluidizados y de Manejo del Coque, y de la zona de la Cabecera del Calentador.

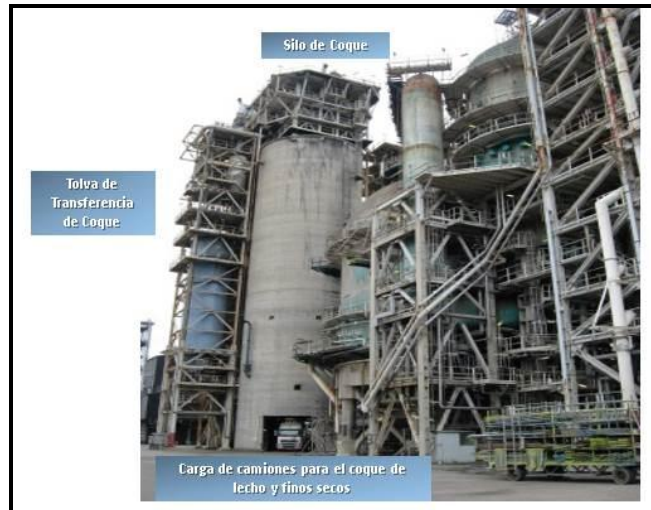


Figura N° 17: Manejo del coque seco

Fuente: EXXON MOBIL

- Manejo de coque húmedo: El objetivo de la Sección de Manejo del Coque Húmedo es el de preparar una torta de coque sin polvo para su venta. La torta de coque se forma mezclando la lechada de coque - polímero y se prensa la mezcla para formar la torta de coque.



Figura N° 18: Manejo del coque húmedo

Fuente: EXXON MOBIL

b) Área de almacenamiento de coque en Cementos Pacasmayo: La planta de Piura cuenta con un horno horizontal con una capacidad total de producción anual de 1 millón de toneladas métricas y 1 molino de cemento con capacidad de 1.6 millones de toneladas métricas. Asimismo, cuenta con 2 silos de almacenamiento con capacidad de 24,000 toneladas métricas de cemento. Se estima que la frecuencia de despacho por parte de PETROPERU sea la siguiente:

- Coque de Lecho: 03 camiones de 30 TM c/u, por día.
- Finos de coque seco: 01 camión de 30 TM por día.
- Finos de Coque Húmedo: 01 camión de 30 TM cada dos días.
- El periodo máximo de preparación del cargamento es diario (coque de lecho, finos de coque seco) e interdiario (finos de coque húmedo).

4.1.5.3 Calidad del coque

En cuanto al almacenamiento inicial, los materiales fuertemente contaminados (ej., con un contenido biológico considerable) y con un alto nivel de humedad (hasta un 40%) deben almacenarse en depósitos contruidos especialmente tomando en cuenta las consideraciones de higiene. El almacenamiento inicial y la preparación de distintos tipos de desechos para usarlos como combustible suele estar a cargo del proveedor (PETROPERU) o de alguna empresa especializada en el tratamiento de desechos, y se realizan fuera de la planta de cemento. Estas soluciones centralizadas pueden ser ventajosas para los operadores de hornos, cuya responsabilidad consiste en elaborar Clinker para la producción de cemento. No obstante, el principio de debida diligencia exige que estos combustibles deberían someterse a medidas de garantía de calidad de la planta que los recibe, lo que significa que sólo las fracciones de desechos separadas y pretratadas deben almacenarse en la planta de cemento y al horno de cemento. (edition., January 2006).

Tabla N° 12: Propiedades del coque como producto final entregado por Petroperú

Propiedades	Bed Coke	Dry Coke	Wet Coke
Densidad Partícula (kg/m3)	1.362	1.762	1.858
Densidad sin sedimentar (kg/m3)	801	461	n/d
Densidad compactada (kg/m3)	897	721	n/d
Distribución de Tamaño (wt%)	Diámetro de Partículas (Micrones)		
1	50	0.51	0.04
5	75	1.20	0.07
10	80	1.97	0.10
20	90	3.44	0.15
40	98	6.77	0.27
50	105	8.73	0.34
60	110	10.80	0.43
80	160	16.81	0.76
90	300	22.01	1.16
95	400	26.38	1.67
99	-	33.96	4.19
Humedad (wt%)	1.0	1.0	55.0
Volátiles (wt%)	1-3	2-7	9-13
Poder Calorífico Alto (kcal/kg)	7957	7778	7484
Poder Calorífico Bajo (kcal/kg)	7904	7726	7430
Capacidad Calorífica (kcal/kg-°C)	0.35	0.35	0.35

Notas:

n/d no disponible

Fuente: PETROPERU

Tabla N° 13: Analisis de coque realizados por cementos Pacasmayo

Muestra	Humedad Total %	Humedad Gruesa %	Humedad Fina %	Volátiles %	Cenizas %	Carbón Fijo %	Azufre %	Poder Calorífico Kcal/Kg
				Base de Análisis				
Coke Fines	1.05	0.60	0.45	4.94	1.43	93.18	1.86	7950
Bed Coke	0.85	0.50	0.35	4.27	0.88	94.50	1.70	7925
Wet Coke	40.83	35.70	5.13	7.63	1.81	85.43	2.29	8278

Fuente: Cementos Pacasmayo

Cementos Pacasmayo requiere que el coque que PETROPERU ofrezca cumpla con las siguientes características:

- Humedad total máxima:3%
- Poder calorífico: 7000 – 8000 Kcal/kg

4.1.5.4 Manejo y Transporte

El sistema de manejo y transporte para trasladar el coque desde centro de producción (PETROPERU) al centro de utilización (Planta de cemento) va a depender de:

- Ubicación geográfica: El objetivo es elevar las ganancias al máximo y reducir los costos del mismo. La planta de cementos PACASMAYO está ubicada en Km 3 de la carretera Piura Paita, Perú, teniendo una superficie de 42 hectáreas, específicamente en la costa norte del Perú.



Figura N° 19: Ubicación de cementos Pacasmayo Piura

Fuente: GOOGLE MAPS

- b) Distancia relativa entre ambas: Esta opción puede generar disminución de los costos porque CEMENTOS PACASMAYO consta de dos plantas, la principal que se encuentra en el departamento de La Libertad y en el departamento de Piura. Las distancias relativas entre las ciudades de Talara a Trujillo son de 541 km, y de Talara a Piura es de 116 km, lo que beneficiaría por la cantidad de coque que se produciría en Refinería Talara diariamente, realizando despachos diarios del mismo producto. (Ver figura n°20).

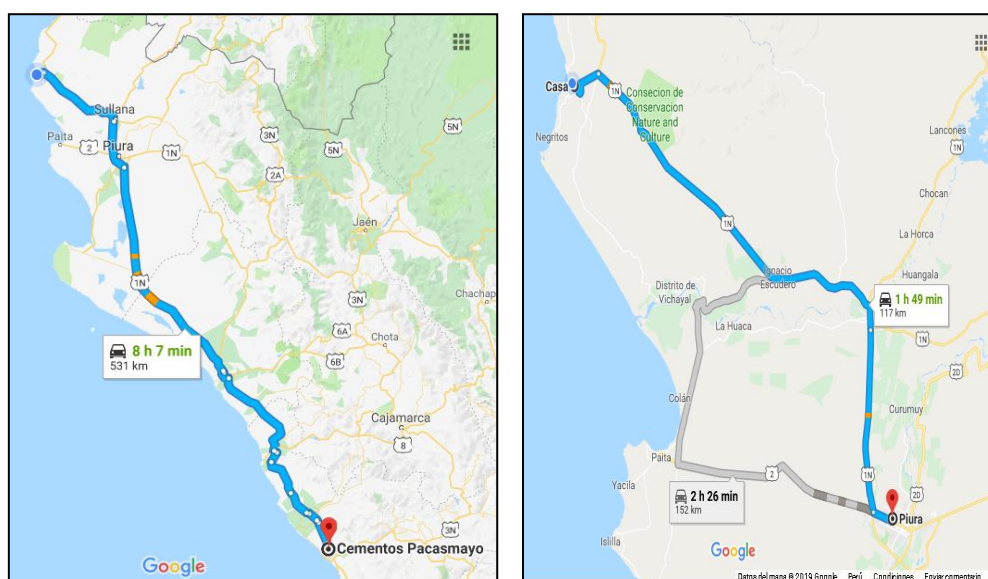


Figura N° 20: Distancias entre Piura y Talara

Fuente: GOOGLE MAPS

c) Medios y Vías de acceso

- Transporte aéreo (Talara): Ubicado en la Región, Provincia y Distrito de Talara a 2 Km. de la ciudad, el Aeropuerto de Talara, inició sus operaciones en 1956 y cuenta con una pista de 2460 metros de largo por 45 de ancho y una Torre de Control de cinco pisos con 15 metros de altura. Actualmente, se encuentra bajo la administración de la empresa privada “Aeropuertos del Perú” (AdP), el cual, consiguió la concesión el 11 de diciembre del 2006 y es la puerta de entrada al norte peruano. (Ver figura n°21).



Figura N° 21: Ubicación aeropuerto de Talara

Fuente: CORPAC PERU

- Transporte terrestre (Talara-Piura): El transporte terrestre es el principal medio de tránsito por la región, las vías nacionales existentes conectan con las capitales de provincia, llegando a los distritos más lejanos. (Ver figura n°22).



Figura N° 22: Transporte terrestre de Talara-Piura

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones

d) Costos y precios del transporte por carga de la materia prima

A continuación, costos generados por transporte: Actualmente la materia prima de cementos Pacasmayo (carbón antracita) consume un total de 9000 Toneladas por mes, lo que equivale a 300 toneladas por día.

El 70% de las 300 toneladas / día son importadas.

Tabla N° 14: Costos de operación del vehículo de carga de coque de petróleo

Elementos del costeo	Valor	Unidad
Días trabajados en el año (52 semanas x 7)	364	Días
Kilometraje anual estimado	43000	Km
COSTOS DEL TRANSPORTE		
Costo fijo por viaje diario (1 camión)	1000	US\$/día
Costo fijo total por viaje (3 camiones)	3000	
COSTOS ADMINISTRATIVOS		
Costo del coque por tonelada (valor del mercado min)	50	US\$/TM
Costo del coque por tonelada (valor del mercado máx.)	200	
Costo del coque por 90 toneladas por viaje (min)	4500	
Costo del coque por 90 toneladas por viaje (máx.)	18000	
COSTOS TOTALES		
Costo total por viaje (min)	7500	US\$/TM
Costo total por viaje (máx.)	21000	

Fuente: Propia

TABLA N° 15: Costos de operación de transporte de antracita

Elementos del costeo	Valor	Unidad
Días trabajados en el año (52 semanas x 7)	364	Días
COSTOS DEL TRANSPORTE		
Costo fijo por viaje diario	1800	US\$/día
Costo fijo total por viaje	5400	
COSTOS ADMINISTRATIVOS		
Costo del coque por tonelada (valor del mercado min)	150	US\$/TM
Costo del coque por tonelada (valor del mercado máx.)	200	
Costo del coque por 90 toneladas por viaje (min)	13500	
Costo del coque por 90 toneladas por viaje (máx.)	18000	
COSTOS TOTALES		
Costo total por viaje (min)	18900	US\$/TM
Costo total por viaje (máx.)	23400	

Fuente: Propia

4.1.5.5 Adecuación de Planta de cemento

- a) Propuesta de implementación de Sistema de Almacenamiento y Dosificación de coque (LOPEZ, BLANCO, & GUTIERREZ, 2012):

(Recipiente de almacenamiento): Se localiza en ella la maquinaria de dosificación al transporte, siendo ésta una tolva de carga, la cual descarga a una cinta sobre unas células de pesaje, que cumplirá las funciones de báscula, con el objeto de mantener bajo control el caudal de alimentación al horno, y un tolvín de descarga que será el encargado de alimentar la cinta de transporte desde la nave de almacenamiento hasta la instalación de inyección situada en el intercambiador, a la altura del precalcinador.

(Transporte): El coque se depositará en el recipiente de almacenamiento. Por mediación de un polipasto eléctrico se alimenta una tolva la cual descarga sobre la cinta pesadora, para ello el polipasto está dotado de un pulpo hidráulico para poder efectuar dicha maniobra.

La cinta pesadora o cinta báscula descargará sobre la cinta de transporte, cuya misión es la de hacer llegar el combustible hacia el punto de inyección en el precalcinador. Para ello se emplea una cinta transportadora con accionamiento en cabeza siendo el perfil de la banda nervado, con el fin de facilitar el transporte del combustible.

(Sistema de dosificación): La cinta transportadora que viene del recipiente de almacenamiento descargará en una tolva y esta tolva a su vez sobre un alimentador vibrante. El uso del citado alimentador vibrante nos asegura una alimentación homogénea en el proceso, su funcionamiento es relativamente sencillo. El alimentador descansa sobre unos apoyos elásticos y por medio de una excéntrica se realiza el movimiento alternativo del alimentador. La razón de que sea triple es para asegurar que no se introduce aire falso en el interior del horno cuando se esté alimentando con coque.

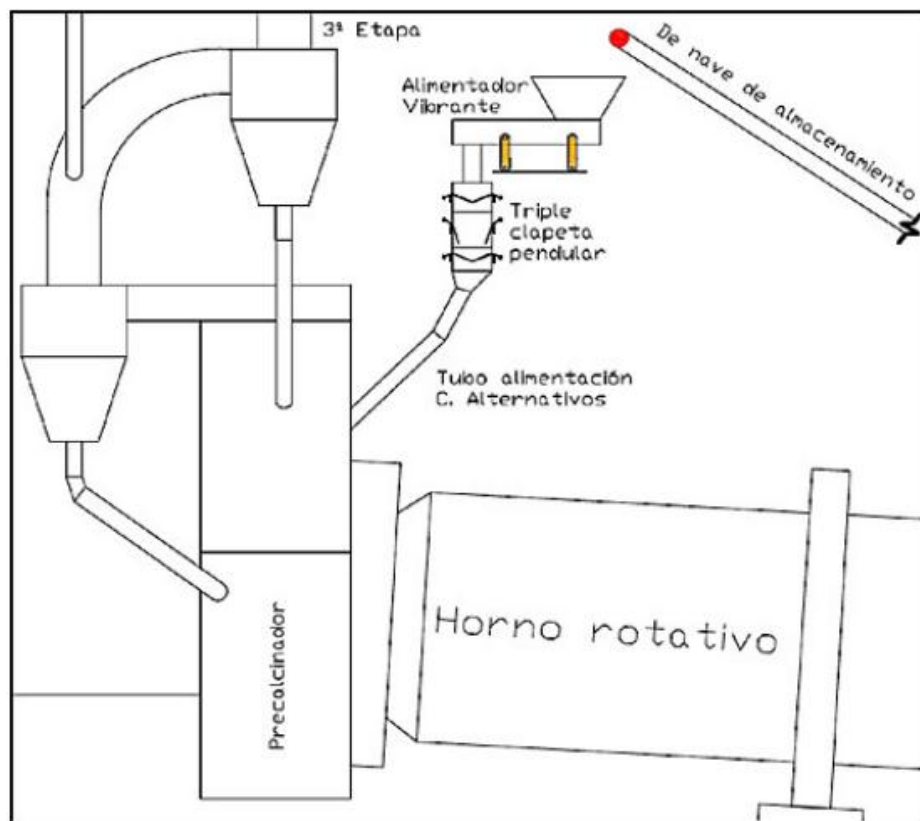


Grafico N° 4: Detalle en el sistema del precalcinador

Fuente Revista Electrónica del Medio ambiente UCM.



Grafico N° 5: Detalle del esquema de alimentación al horno

Fuente: Propia

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- En las industrias de refinación de petróleo a mayor sea su complejidad en cuanto a la conversión de crudo en productos valiosos, generará mayor cantidad de coque como subproducto.
- El coque producido en las industrias de refinación de petróleo tiene múltiples usos como son: Generación de energía, industrias cementeras, siderúrgicas, metalúrgicas y exportación de coque a distintos países.
- Un mercado potencial para este coque se considera a Cementos Pacasmayo, permitiendo cubrir 90 TMD de las 210 TMD importadas, lo cual permite optimizar procesos, reducir costos de materia prima y minimizar la polución al incrementar continuamente la eficiencia de equipos y procesos de manufactura, además de utilizar el conocimiento y la tecnología nueva para fabricar productos de cemento con un incremento de recursos eficientes para producir y usar.
- El coque de petróleo puede ser manejado exactamente de la misma manera que la mayoría de los carbones minerales no requiere de maquinaria o equipo especializado. Las técnicas de transporte usadas con el carbón y el coque son las habituales para transportar y el coque son las habituales para transportar grandes cantidades de sólidos: trenes, barcazas, fluviales, buques y/o camiones.
- La fabricación del cemento conlleva un alto gasto energético, ya sea como combustibles utilizados para la descarbonatación de la caliza CaCO_3 , o bien como energía eléctrica. Teniendo en cuenta que los costes de combustible y energía eléctrica ha pasado en los últimos años de significar el 28% a casi el 40% de los costes de fabricación, la reducción del consumo de energía y la diversificación de las fuentes energéticas son factores clave para la competitividad del sector cementero.

- La tecnología de Flexicocking presenta muchas ventajas para el proyecto Modernización de Refinería Talara, pues contribuirá a reducir significativamente el requerimiento de costo capital generando una estructura de productos económicamente más rentables que otros procesos alternativos de conversión térmica, como lo es el coque de petróleo.

5.2 RECOMENDACIONES

- Se debe considerar la posibilidad de ofertar coque de petróleo como sustituto del carbón mineral (hulla bituminosa importada) para las cementeras que se encuentran fuera del alcance de los principales focos de producción y distribución de la materia prima.
- Evaluar la mejor propuesta económica en función de los costos de precio internacional de coque antracítico que utilizan las cementeras.
- Programar visitas a las empresas cementeras del país para ofrecer el coque de petróleo que se producirá en FCK, y estas puedan tomar conocimiento de su futura disponibilidad y características fisicoquímicas.
- Coordinar la contratación de una empresa especializada para la gestión logística del coque de petróleo, para que desarrolle su sistema de equipamiento requerido para la carga del coque.

6 BIBLIOGRAFÍA

- A, Guerrero. Q. (2013). Venezuela. *Valoración de la factibilidad técnica económica y financiera para el desarrollo de una planta de generación de electricidad utilizando coque de petróleo como combustible.*
- Acosto, E. (2007). Lima. *Curso sobre Procesos de Conversión de Fondos.*
- Berkenpas, M. (1999). EE.UU. *Integrated Environmental Control Model: Technical Documentation.* Pittsburgh, Carnegie Mellon University.
- Cemberau. (1999). *Best Available Techniques for the Cement Industry.*
- Dynamis, D. Coque de Petróleo: Parte 3 – Perspectivas, Disponibilidades, Precio.
- Edition., K. (2006). Formation and Release of POPs in the Cement Industry. *World Business Council for Sustainable Development/SINTEF.*
- EIA, E. I. 2007). U.S. Refinery and Blender Net Production of Petroleum coke.
- Equilibrium. (2018). Análisis del Sector Eléctrico Peruano: Generación.
- Espinoza, H. (2001). Historia de Talara.
- Gonzales, M. (2017). coque de petróleo, nueva alternativa de combustible.
- Gorry, K. (2011). Venezuela. *Usos del coque de petróleo en los procesos productivos del sector Siderúrgico.* . UNEXPO.
- Hernández S. Roberto, F. C. (2006). *Metodología de la investigación.* Mexico: Editorial McGraw-Hill Interamericana.
- *Inicio de sostenibilidad del cemento. (2005).*
- INSTITUTE, A. (1997). *Technical Data Book.* Petroleum Refining Sixth Edition.

- Katz R. (2001). *Efectos ambientales de la sustitución de carbón por petcoke en la generación eléctrica y procesos industriales*. . Revista Ambiente y Desarrollo.
- Lopez, A., Blanco, F., & Guitierrez, M. (2012). Mejora del rendimiento de una cementera mediante el empleo de combustibles alternativos.
- LOPEZ, J. (2014). Almacenamiento al cielo abierto de coque dañara la salud de los veracruzanos. *Al calor político*.
- Massenzio, P. W. (2008). *HYDROCARBON ENGINEERING*,. USA: Exxon Mobil Research & Engineering Company.
- Ministerio de Energía y Minas. Capacidades Reportadas al Ministerio de Energía y Minas-Nº REGISTRO 001-REF-20-2004, EXPEDIENTE 1915742.
- PERU, P. (2017). Manual de Procesos de Flexicoker-Proyecto Modernización Refinería. Talara.
- PETROPERU.(2017). Peru. *Memoria descriptiva PMRT*.
- Pizango, M. (2014). *Evaluación técnica – económica del sistema de suministro de gases combustibles de refinería talara modernizada* . Tesis Pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería.
- Plan energetico 2014-2025.
- REFINING, E. M. Flexicoking at ESSO Rotterdam.
- Ruiz, H. (2014). Venezuela. *Evaluación del efecto del tipo de alimentación sobre el rendimiento y la calidad de los productos de la coquización retardada*.
- Simoes, A. (s.f.). *Observatory of economic complexity*.
- Somary, G. (1999) *Controlling Emissions in Cement Manufacturing*., *Cement Americas*.
- STATISTA.

- Sudameris, B. (2005). Industria de Cemento en el Peru.
- Talara, P. d.-R. (2007). *Manual de Operación Servicios Industriales. Revisión I. Piura.*
- U.S. EPA., A. P. (2008.). *US Environmental Protection Agency*
- Verastegui, G. F. (2010). *Evaluación técnico – económica de una unidad de coquificación de residuales de vacío en el Perú.* Tesis Pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería.
- Villanueva, H. (2001). Tecnología de Producción de Clinker.

7 ANEXOS

ANEXOS DEL CAPITULO I

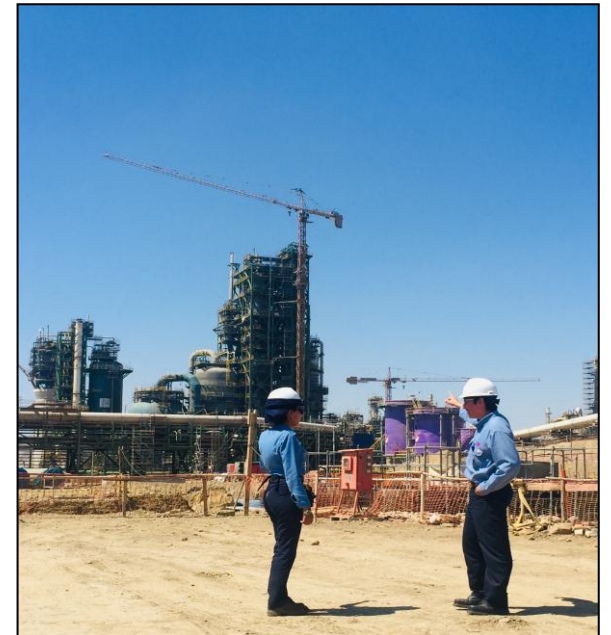
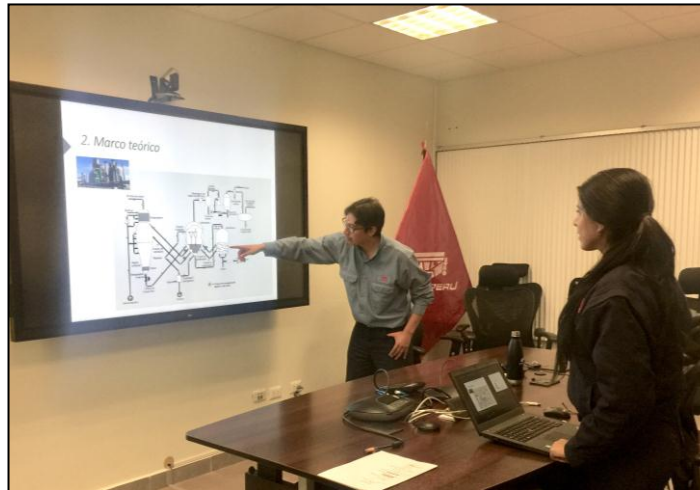
Anexo N° 1: Matriz de consistencia general

<i>Problema</i>	<i>Objetivos</i>	<i>Hipótesis</i>	<i>Metodología</i>
¿Es posible evitar la acumulación del coque en Refinería Talara, para poder determinar la mejor alternativa de uso y disposición en distintas industrias cementeras?	<p>Objetivo general</p> <p>El principal objetivo de este trabajo de tesis es evaluar las alternativas de aprovechamiento del manejo y disposición del coque producido en la Unidad de Flexicoking de la nueva Refinería Talara.</p> <p>Objetivos específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Estudio de las propiedades físico-químicas del coque de petróleo. • Proponer distintas alternativas de disposición del coque de petróleo. • Evaluar la eficiencia viable de la alternativa propuesta. 	<p>La disposición del coque generado en la Unidad de Flexicoking en la modernización de Refinería Talara a distintas industrias, permitirá evitar una acumulación y contaminación desmedida en la ciudad, agotamiento del relleno industrial de Refinería Talara y además multas por parte de las autoridades. Además de poder ser comercializado a distintas industrias.</p>	<p>Tipo de investigación</p> <p>Esta investigación es del tipo aplicada, descriptiva y explicativa.</p> <p>Método de investigación</p> <p>Para la elaboración del diagnóstico de la investigación se requiere conocer el tema, esto se logra mediante la elaboración de un marco teórico respaldado en referencias bibliográficas, también se requiere la aplicación de técnicas e instrumentos de recolección de información para un posterior análisis.</p>

Anexo N° 2: Matriz de consistencia específica

<i>Variable</i>	<i>Concepto</i>	<i>Aplicación</i>	<i>Medida</i>
Independiente: Disposición de la cantidad de coque de la Unidad FCK.	Es la que supone la causa del efecto, disposición y almacenamiento del coque proveniente de la Unidad FCK.	El coque, subproducto de la Unidad FCK tendrá varias alternativas de disposición de salida de Refinería Talara de acuerdo con la cantidad de producción de la unidad FCK.	Dependerá de la alimentación a la Unidad de FCK que son provenientes de DV3, el coque se extrae como fondo o subproducto.
Dependiente: Tiempo de acumulación del coque en Refinería Talara	Es la variable que cambia a partir de la independiente, como es el caso del tiempo de acumulación del coque proveniente de la Unidad FCK.	El tiempo de acumulación del coque en Refinería Talara dependerá de la productividad de la planta.	Dependerá de las alternativas de disposición y almacenamiento propuestas para que el coque sea usado por otras industrias.

Anexo N° 3: Visitas a Refinería Talara



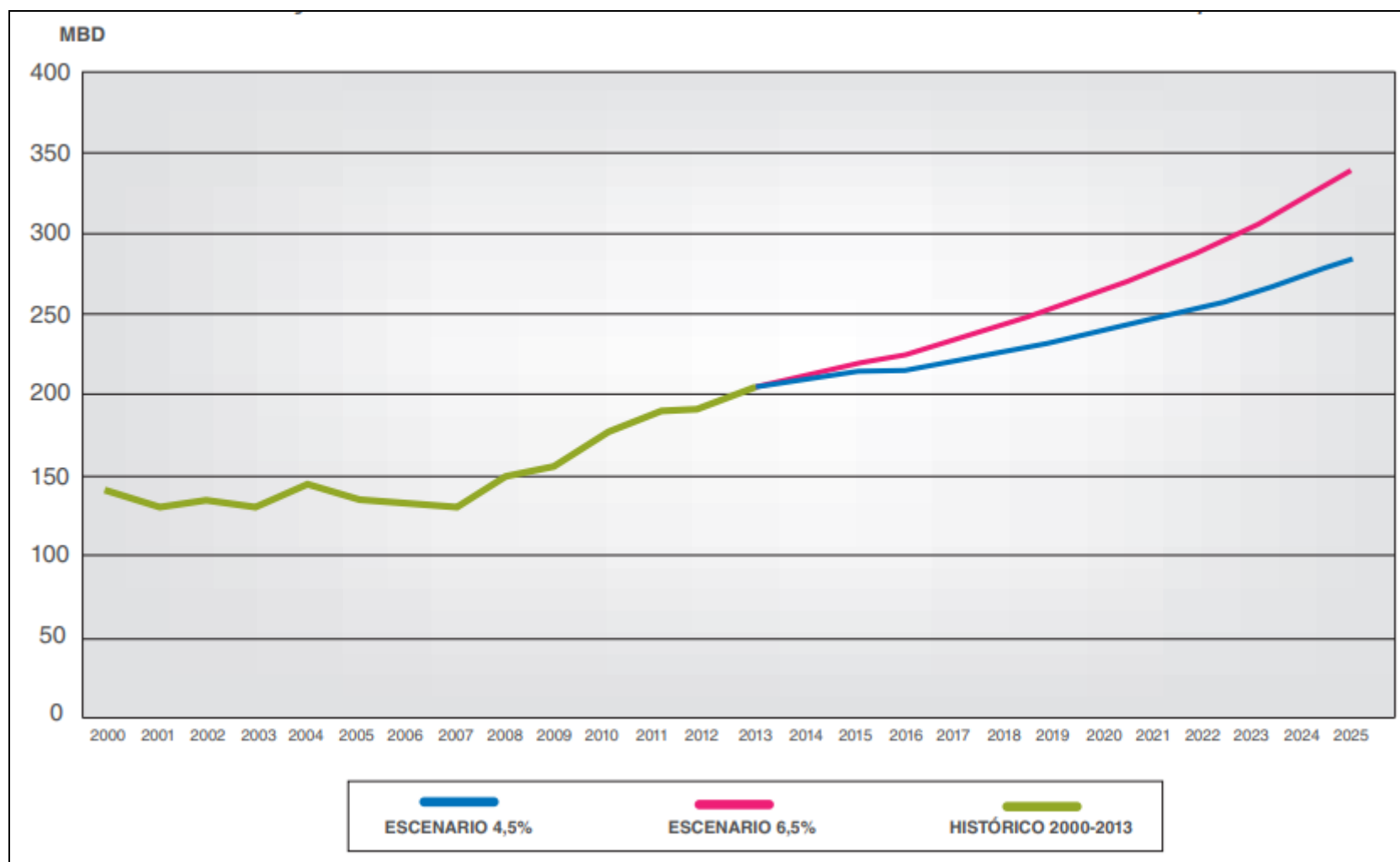


Anexo N° 4: Proyección final del consumo de energía

	2014	2025 - PBI 4,5 %	2025 - PBI 6,5 %
Electricidad	19%	18%	20%
Gas Natural	13%	35%	35%
Diésel	28%	19%	18%
GLP	10%	12%	12%
Gasolina Motor	8%	4%	4%
Turbo	5%	4%	4%
Petróleo Industrial	2%	0%	1%
Carbón Mineral & Derv.	3%	3%	3%
Bosta & Yareta	1%	1%	0%
Dendroenergía (*)	11%	4%	3%
Total	100%	100%	100%
<i>(*) Incluye leña, carbón vegetal y bagazo</i>			

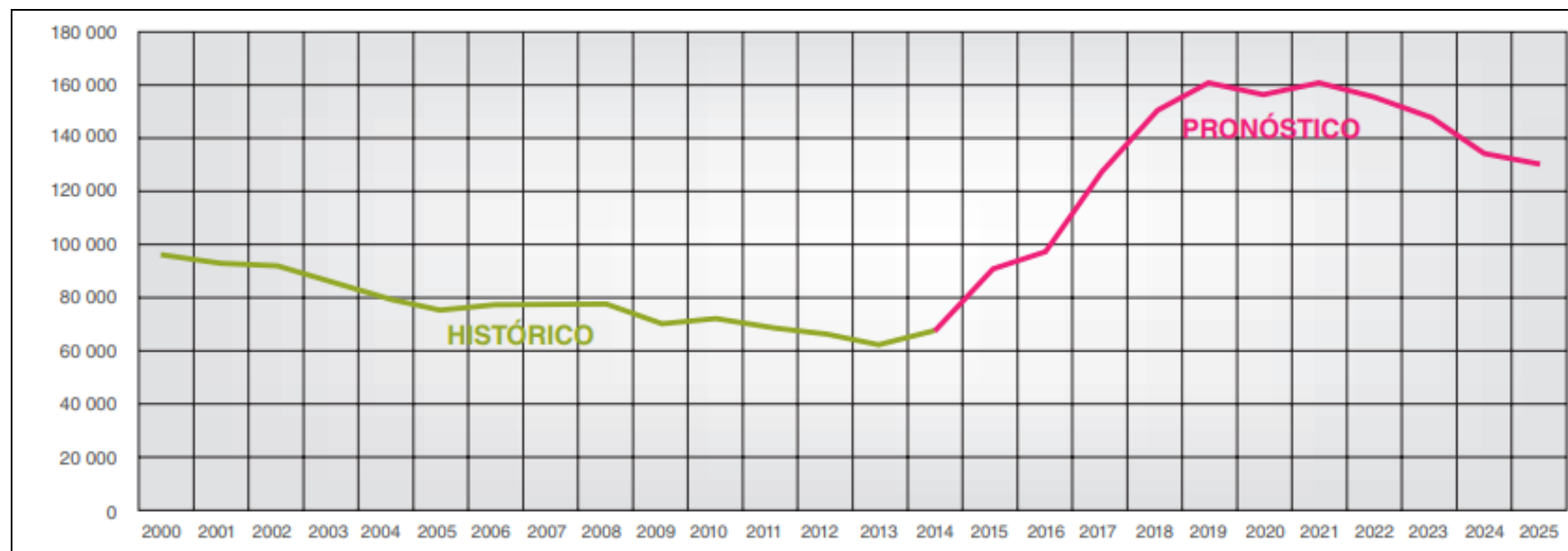
Fuente: MINEM

Anexo N° 5: Crecimiento del consumo final de hidrocarburos líquidos



Fuente: MINEM

Anexo N° 6: Producción de petróleo crudo (BPD)



Fuente: MINEM

ANEXOS DEL CAPITULO II

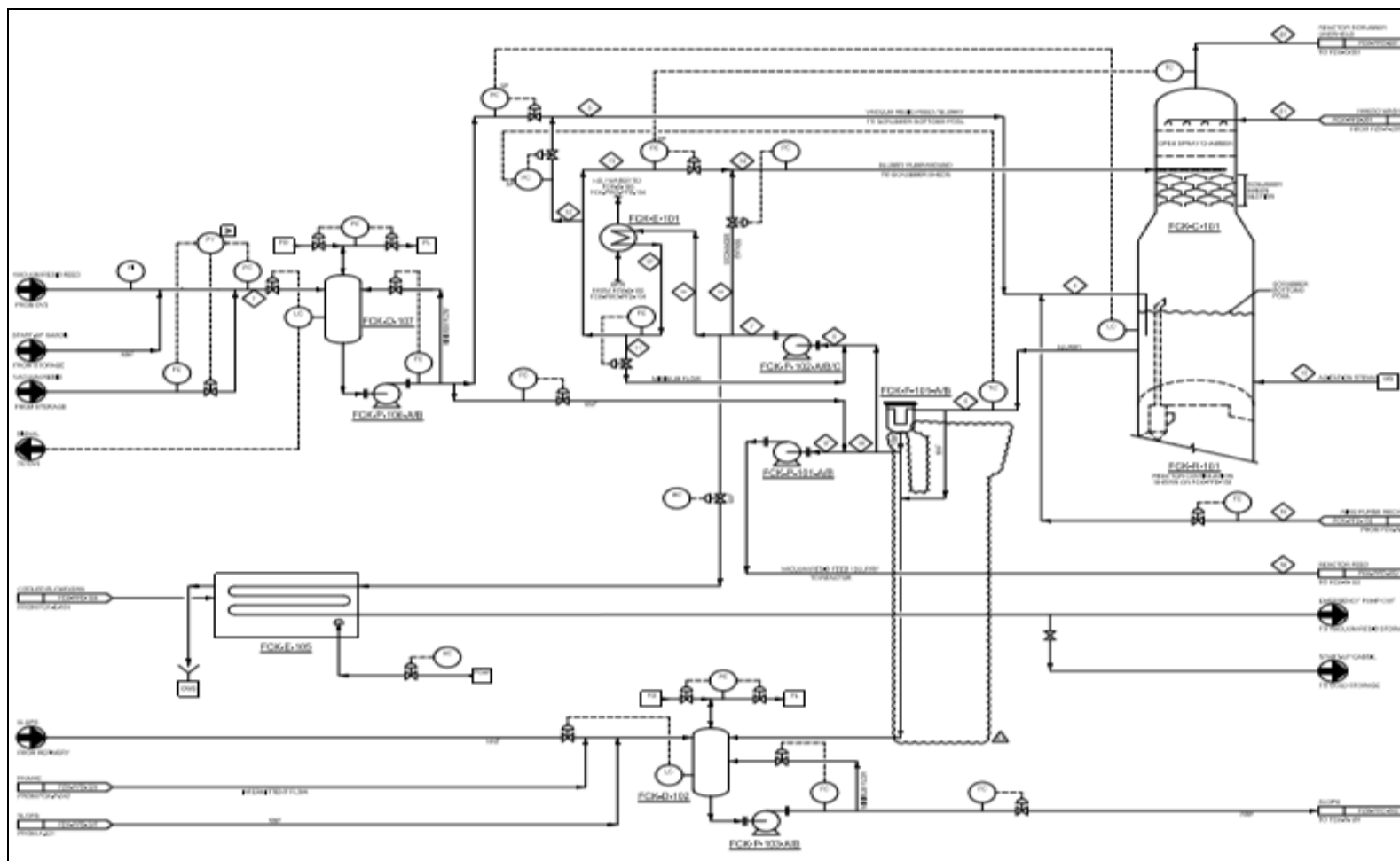
Anexo N° 7: Países que cuentan con la tecnología de flexicoking

COMPANY	LOCATION	FEED kB/D	FEED Mtons/yr	STATUS
TOA Oil	Japan	27	1.3	+ Operating Above Capacity
PDVSA	Venezuela	65	3.3	+ Operating
Shell	California	22	1.1	+ Operating
ExxonMobil	Netherlands	42	2.1	+ Operating Above Capacity
ExxonMobil	Texas	42	2.1	+ Operating Above Capacity
Hellenic	Greece	21	1.1	+ S/U 2012; Operating at Capacity
PetroPeru	Peru	22	1.1	+ Design Complete; in Detailed Engr.
Rosneft	Russia	50	2.5	+ Design Complete; in Detailed Engr.
Gaspromneft	Russia	40	2.0	+ Basic Design Complete
Zhonghai (Yingkou)	China	36	2.0	+ In Basic Design

Fuente: Cementos Pacasmayo

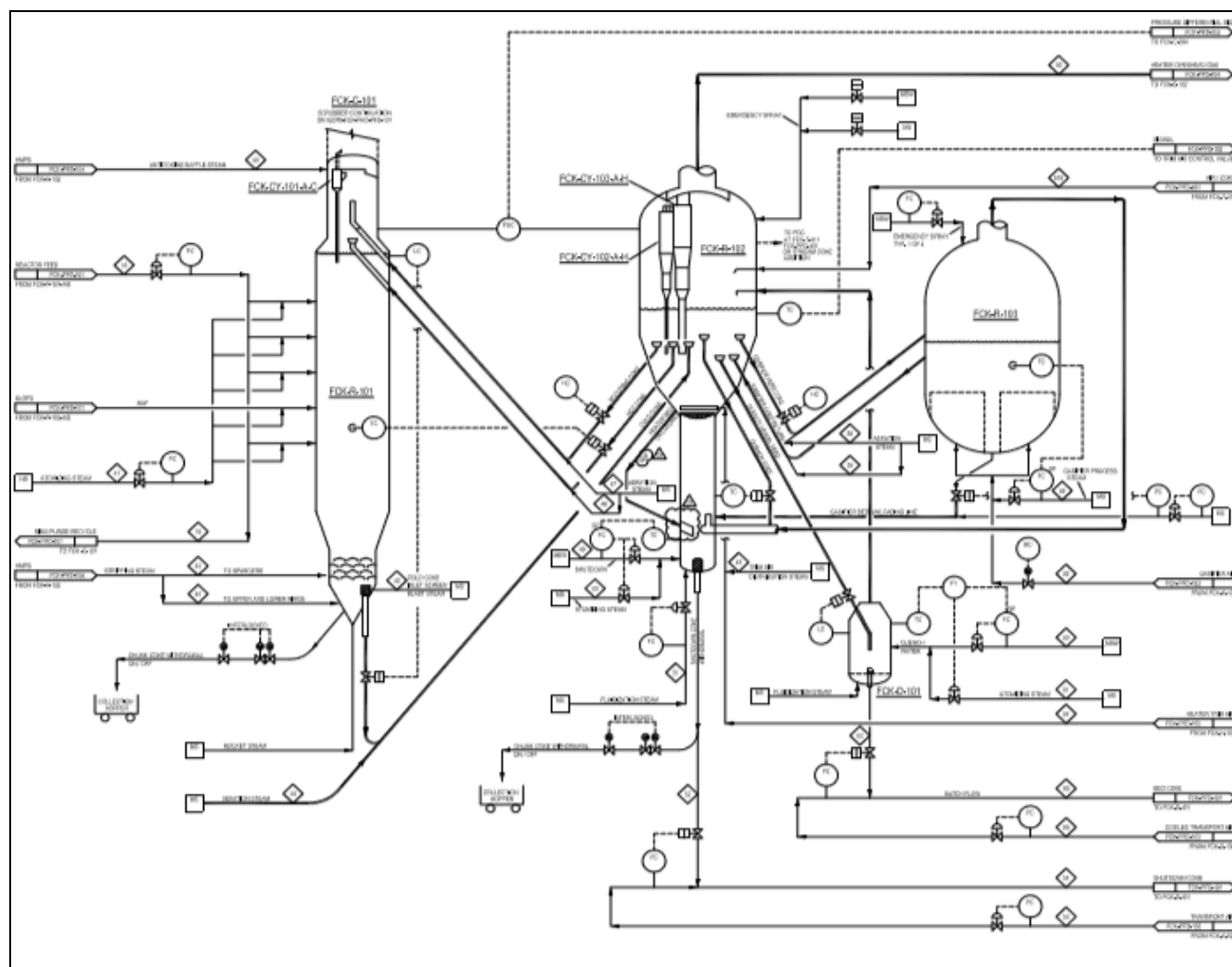
ANEXOS DEL CAPITULO II

Anexo N° 8: Proceso FCK unidad 100



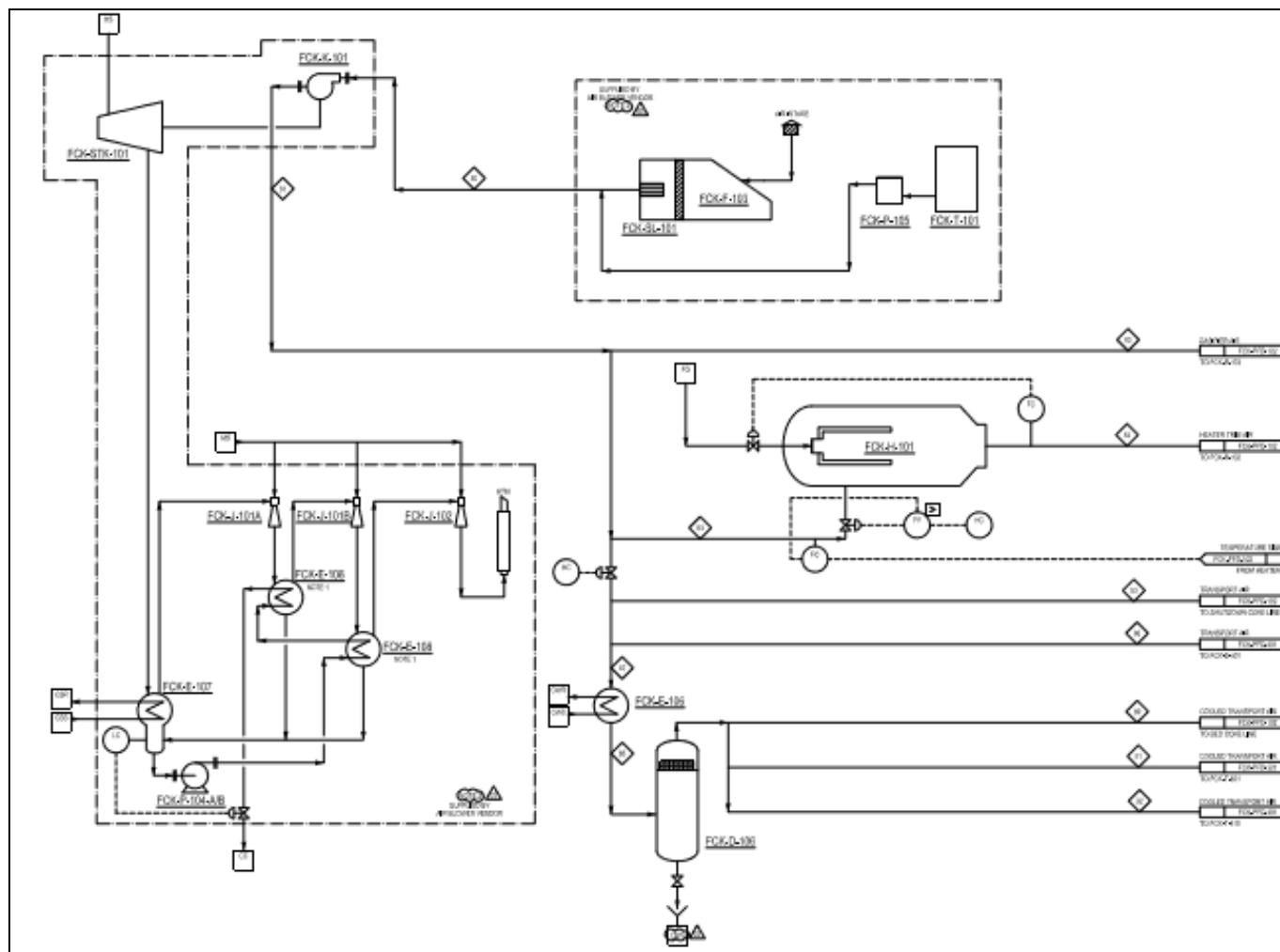
Fuente: PETROPERU

PROCESO FCK UNIDAD 100



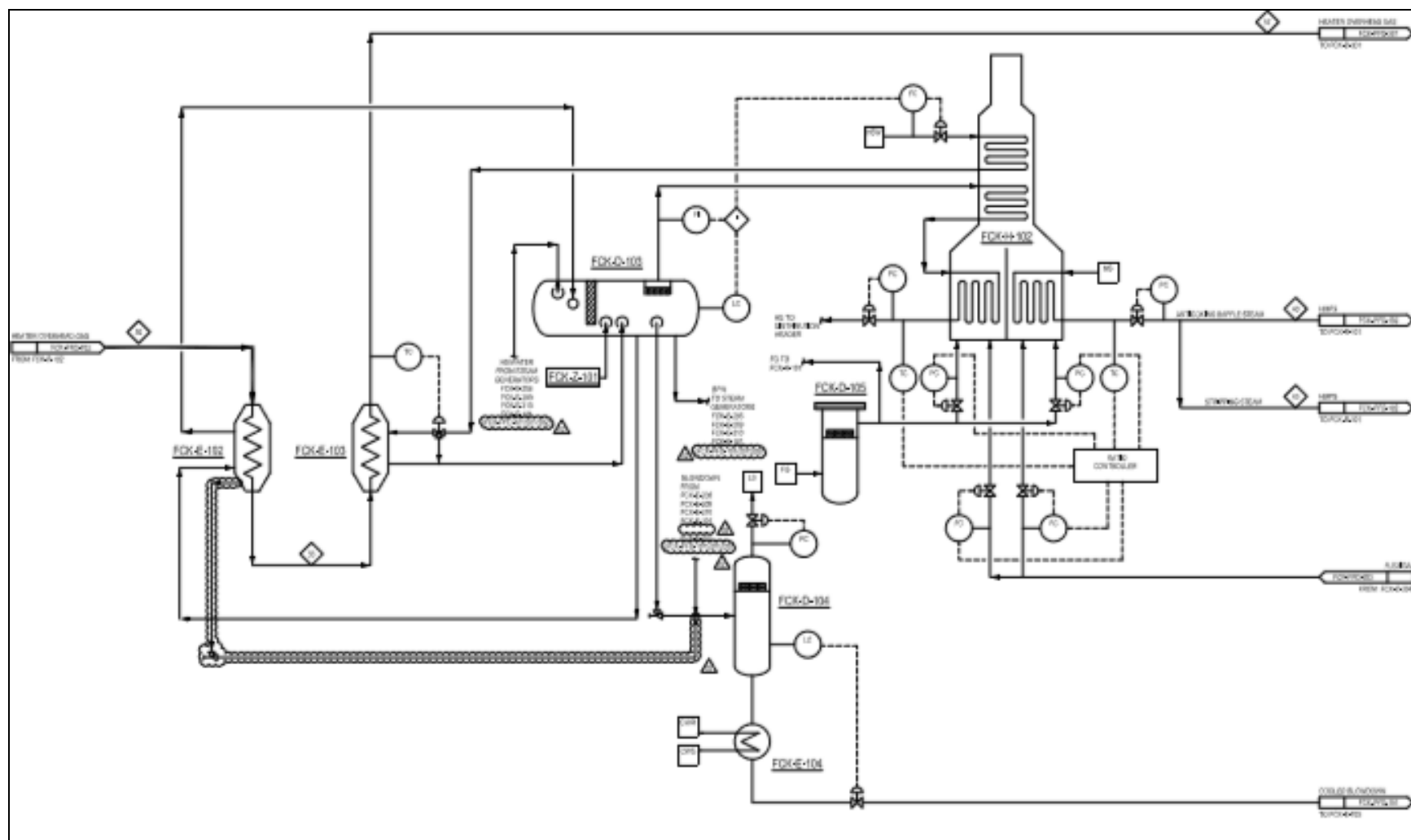
Fuente PETROPERU

PROCESO FCK UNIDAD 100



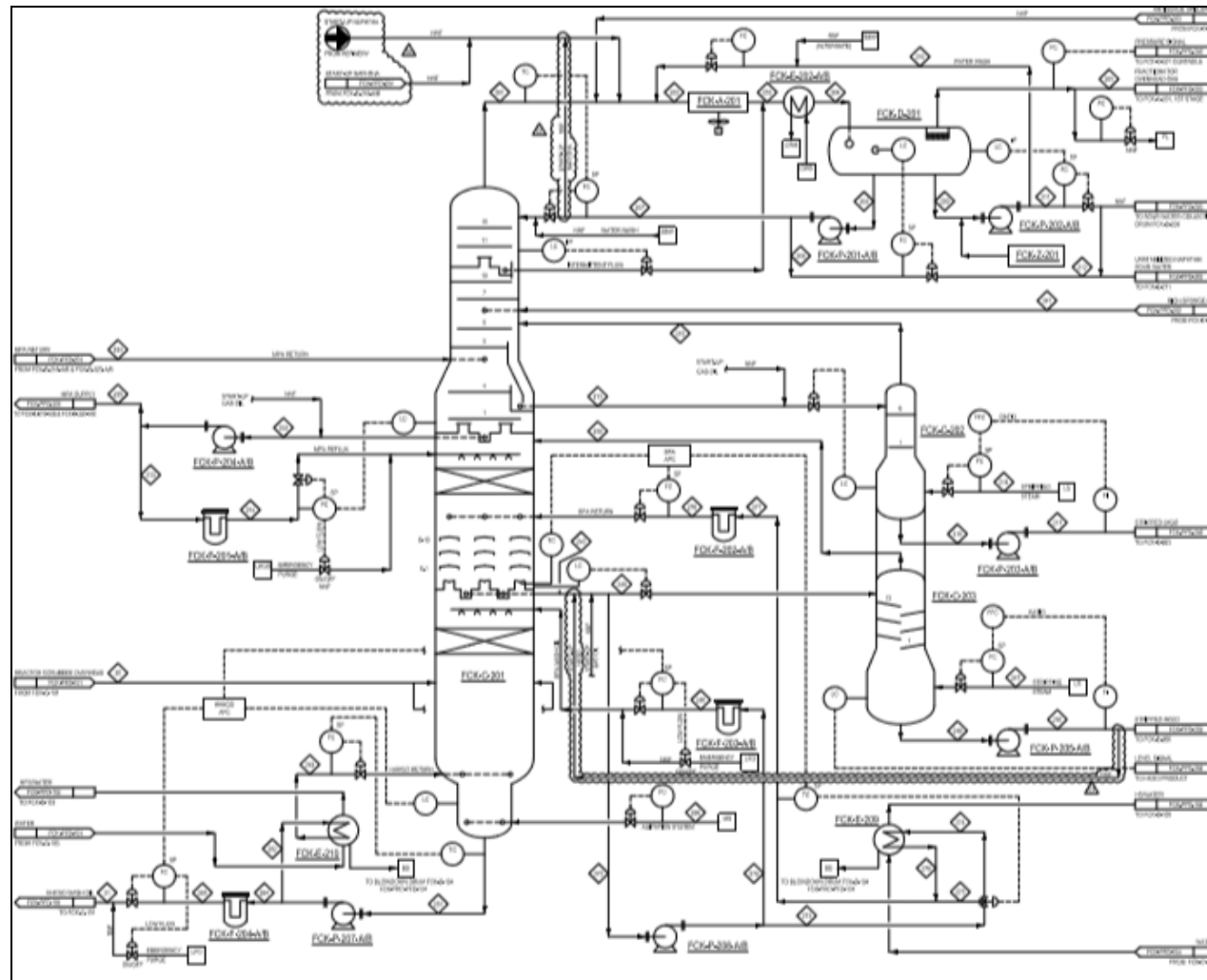
Fuente PETROPERU

PROCESO FCK UNIDAD 100



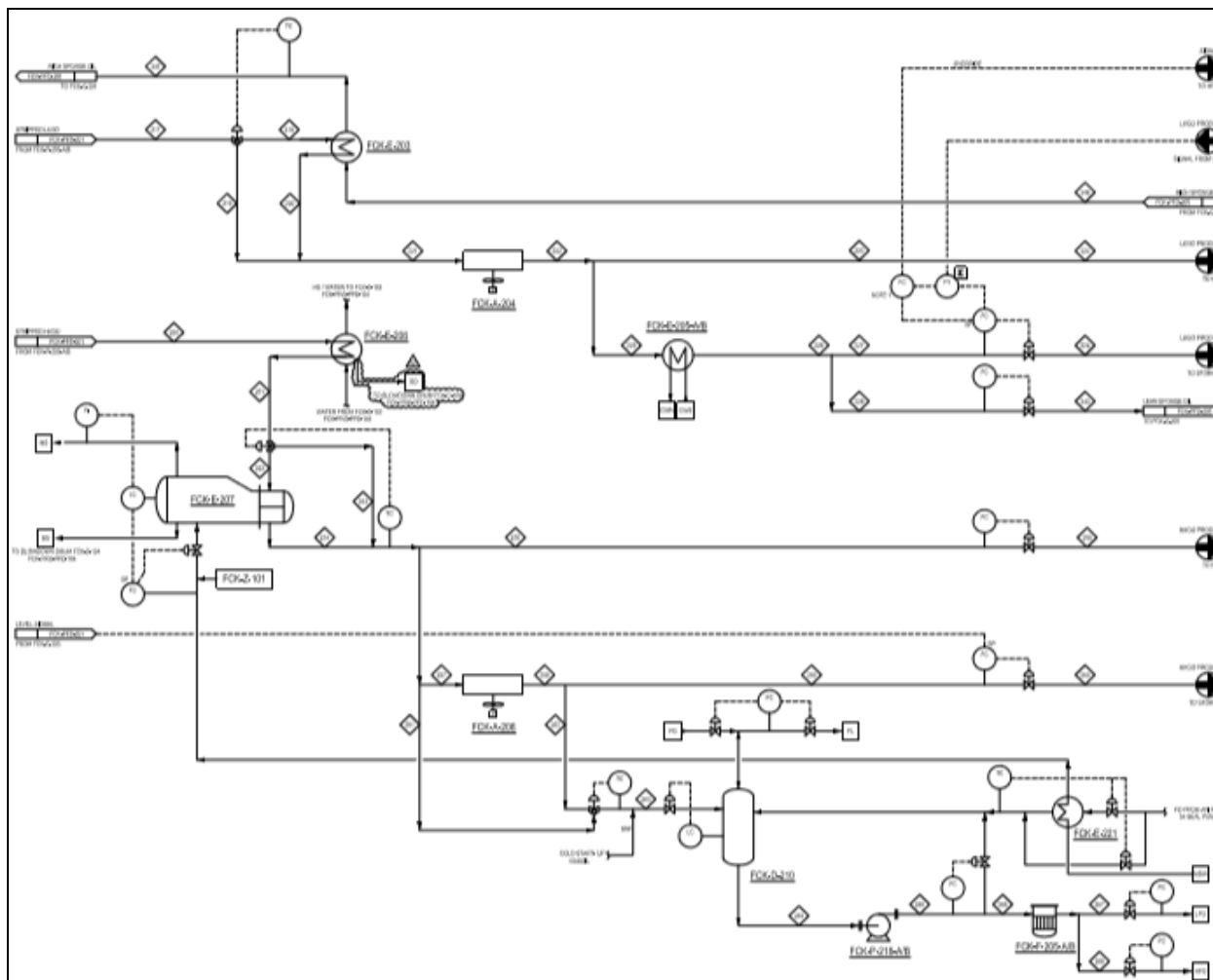
Fuente PETROPERU

Anexo N° 9: Proceso FCK unidad 200



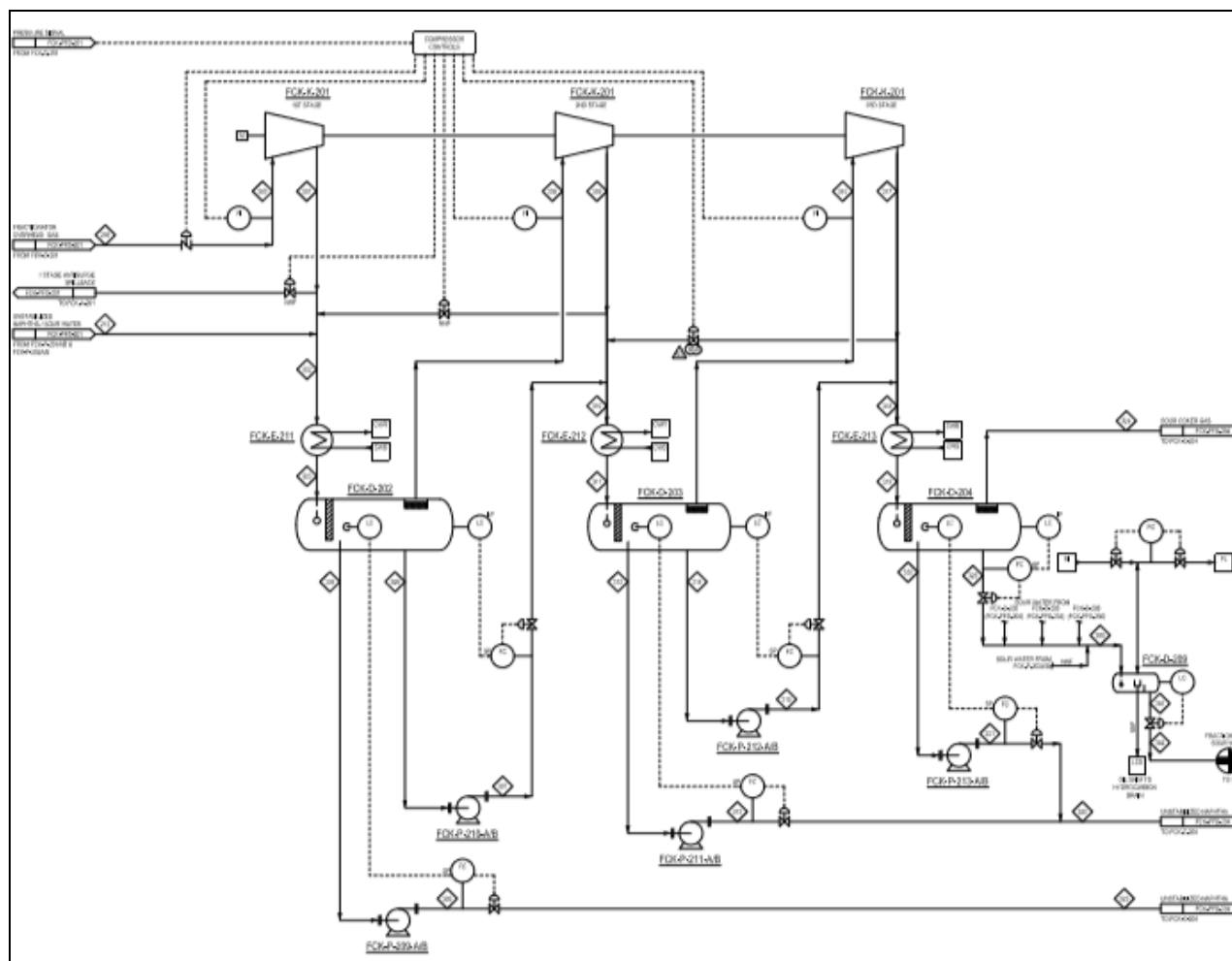
Fuente: PETROPERU

PROCESO FCK UNIDAD 200



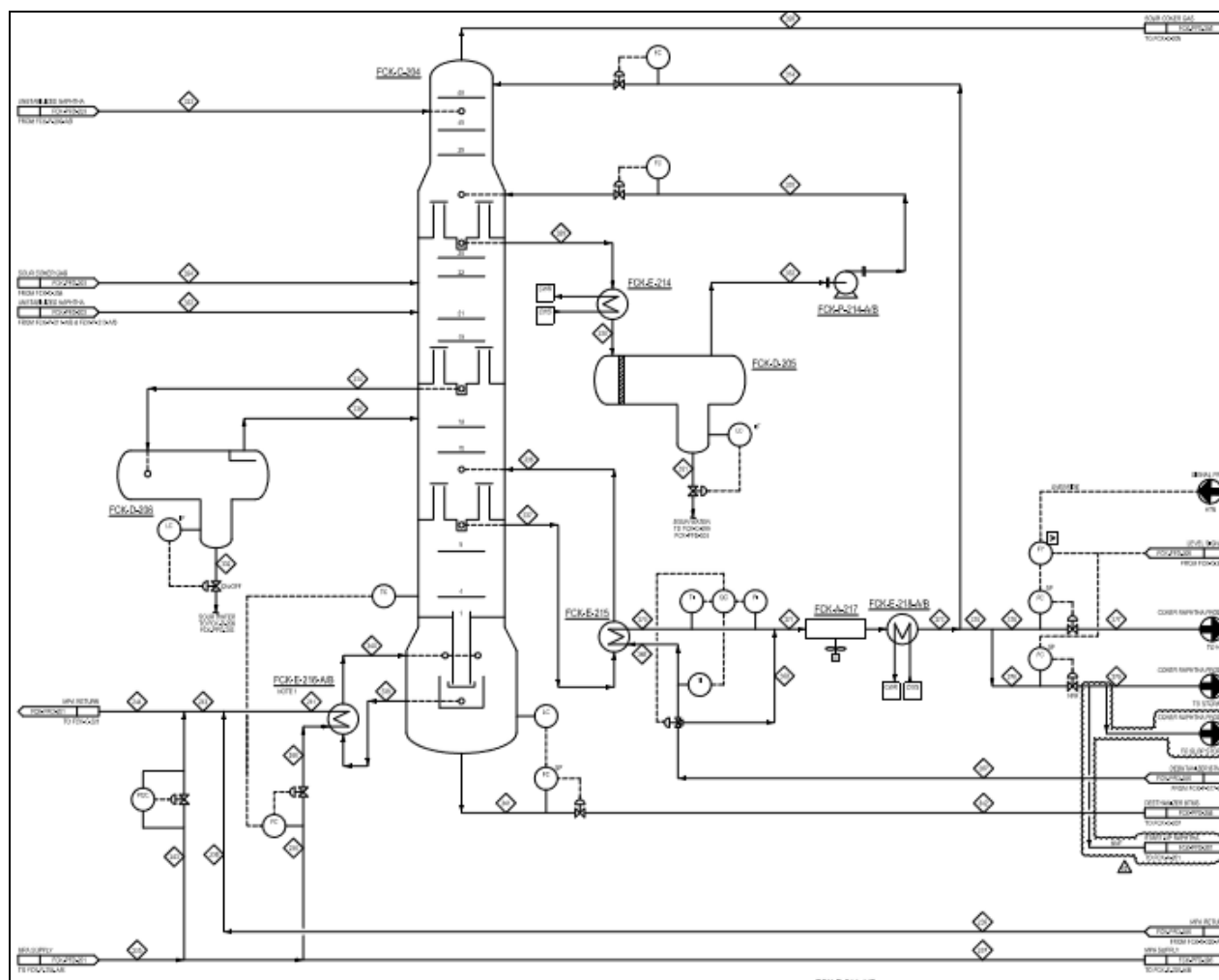
Fuente PETROPERU

PROCESO FCK UNIDAD 200



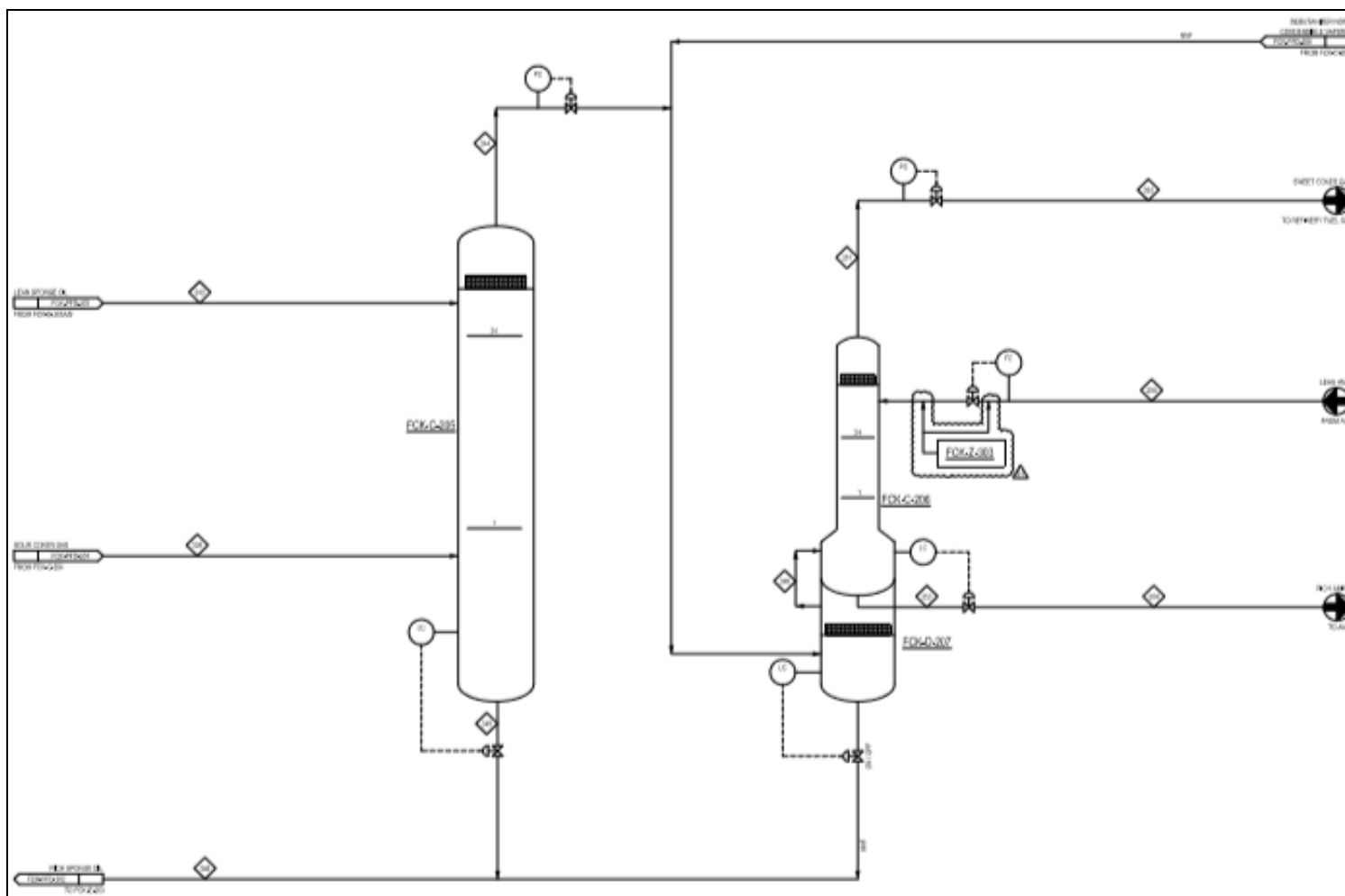
Fuente PETROPERU

PROCESO FCK UNIDAD 200



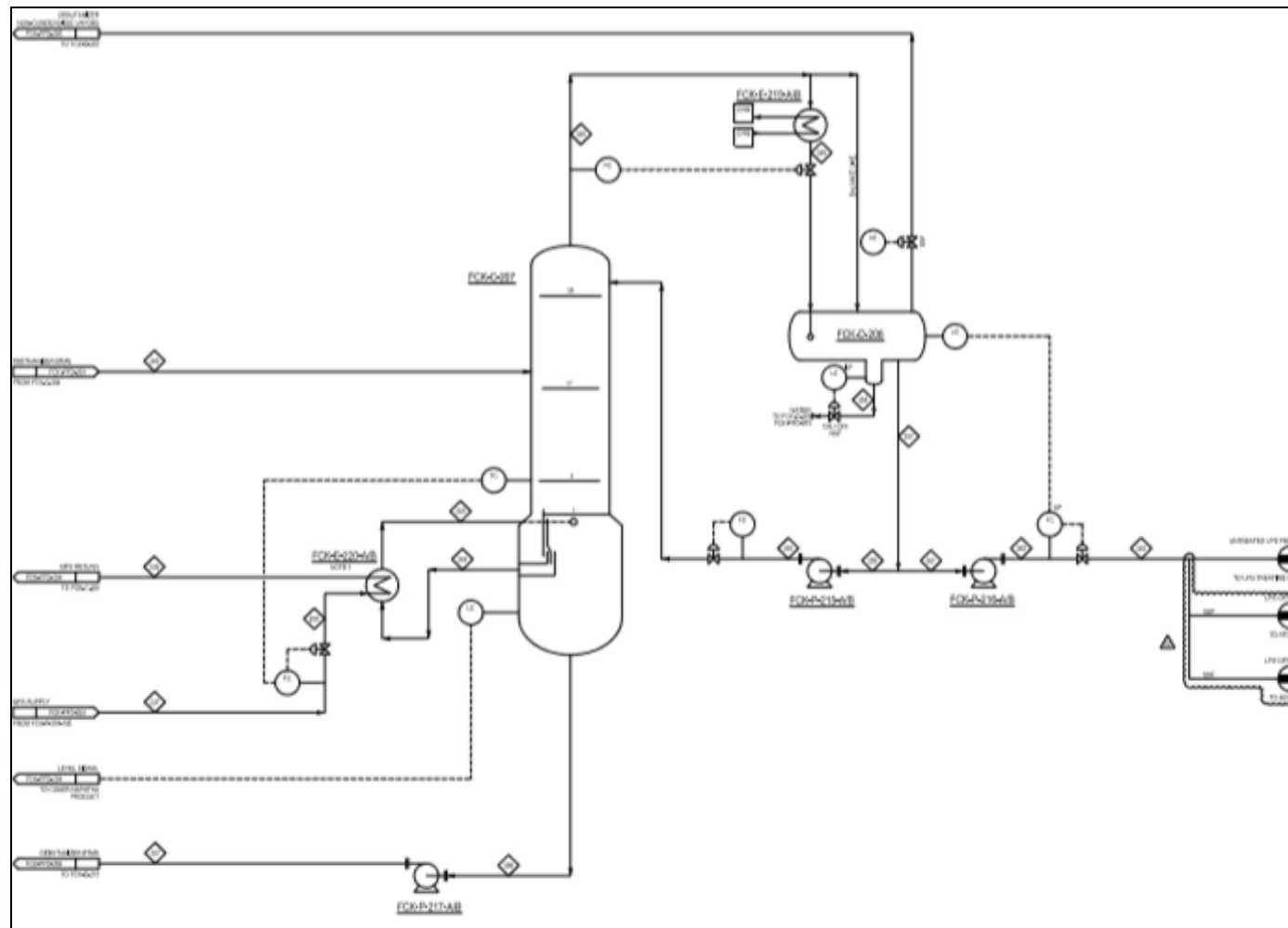
Fuente PETROPERU

PROCESO FCK UNIDAD 200



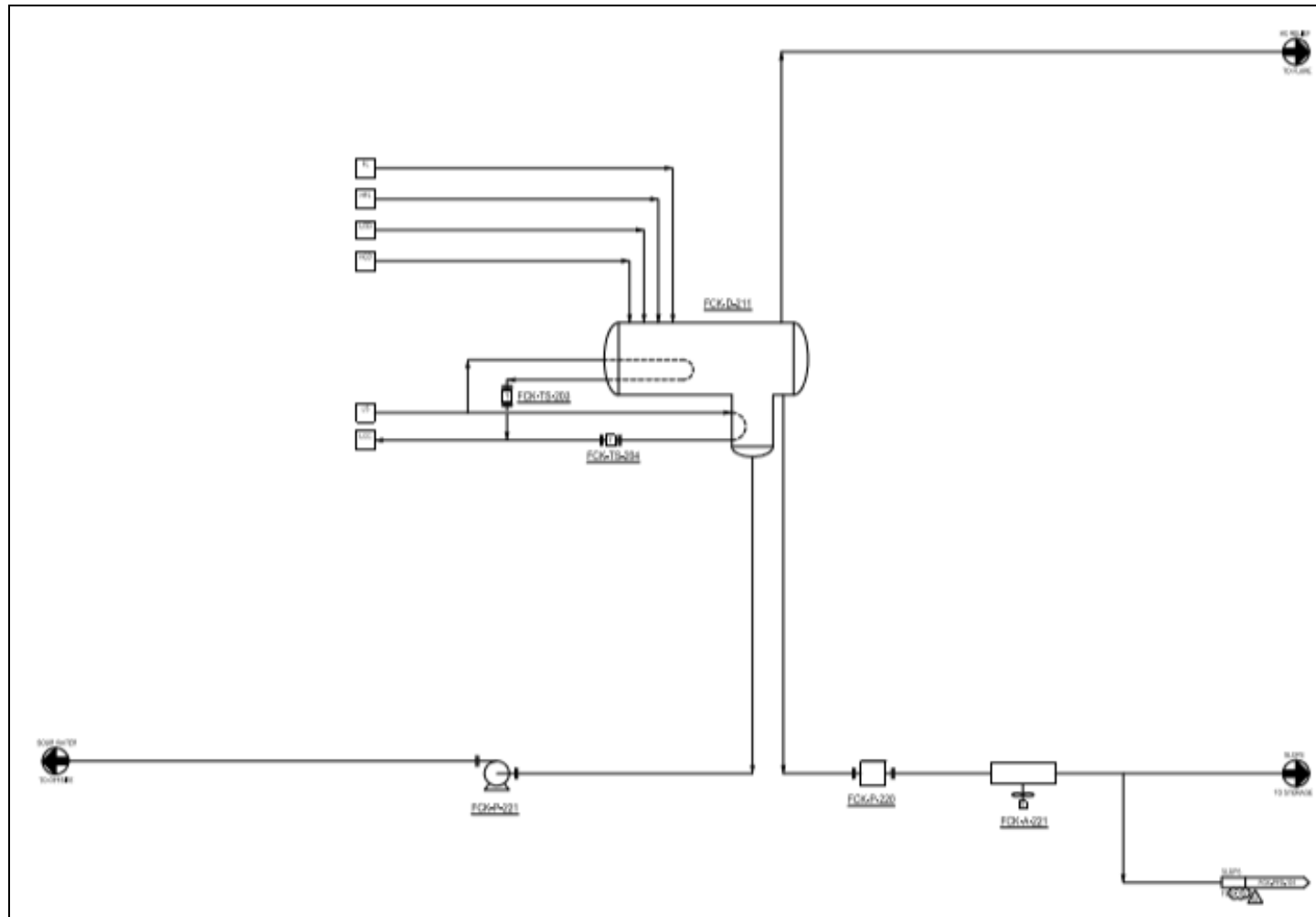
Fuente PETROPERU

PROCESO FCK UNIDAD 200



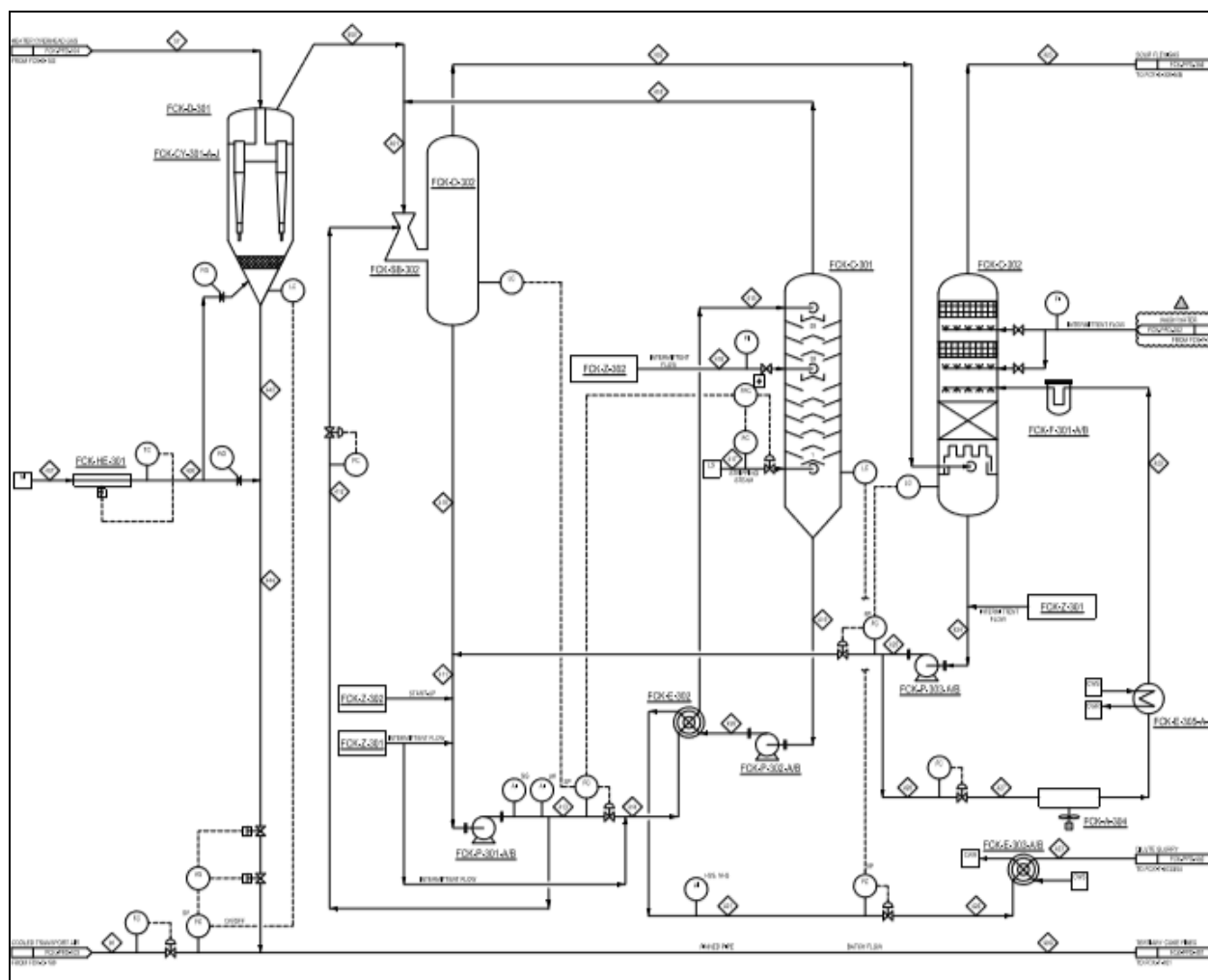
Fuente PETROPERU

PROCESO FCK UNIDAD 200



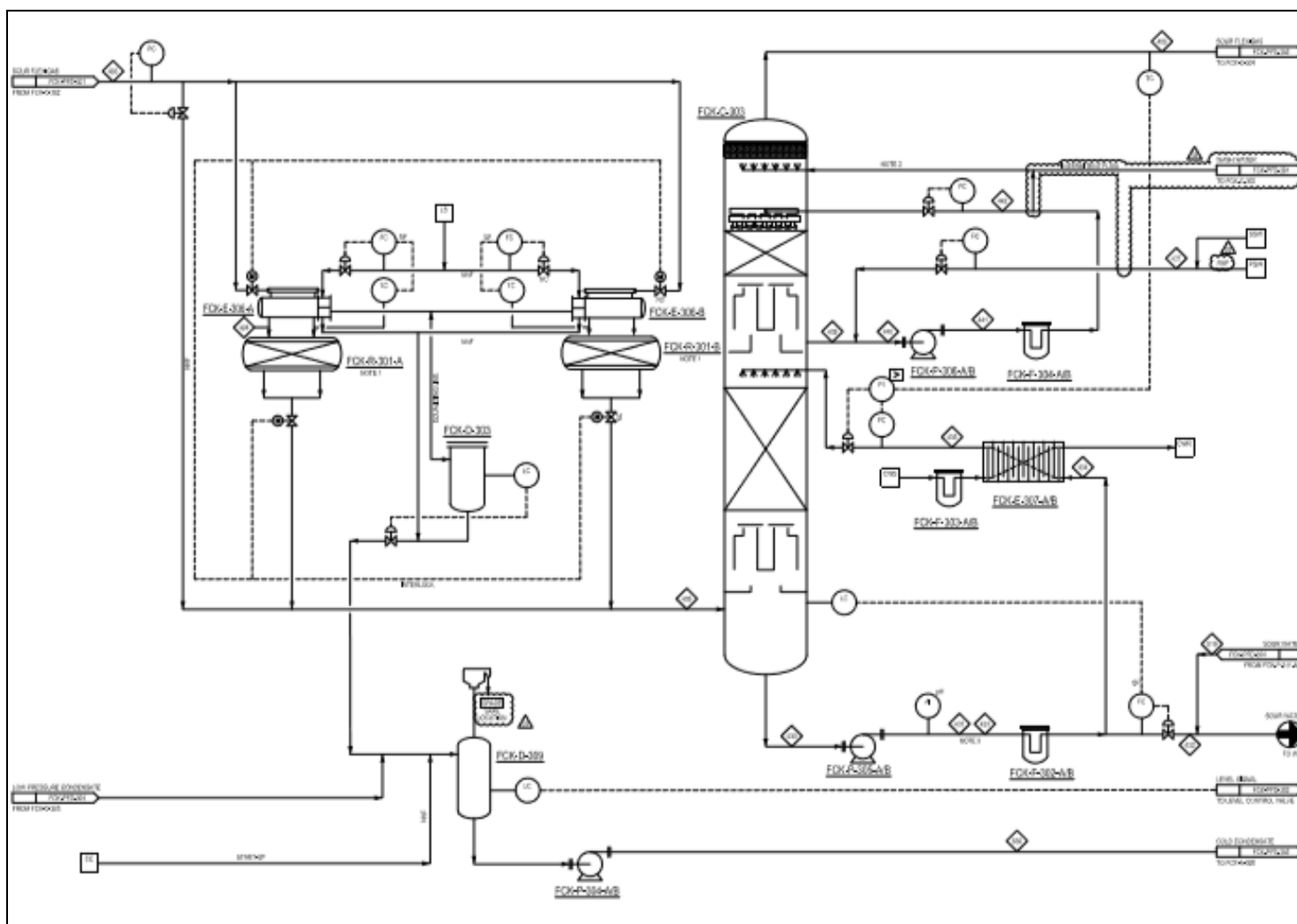
Fuente PETROPERU

Anexo N° 10: Proceso FCK unidad 300



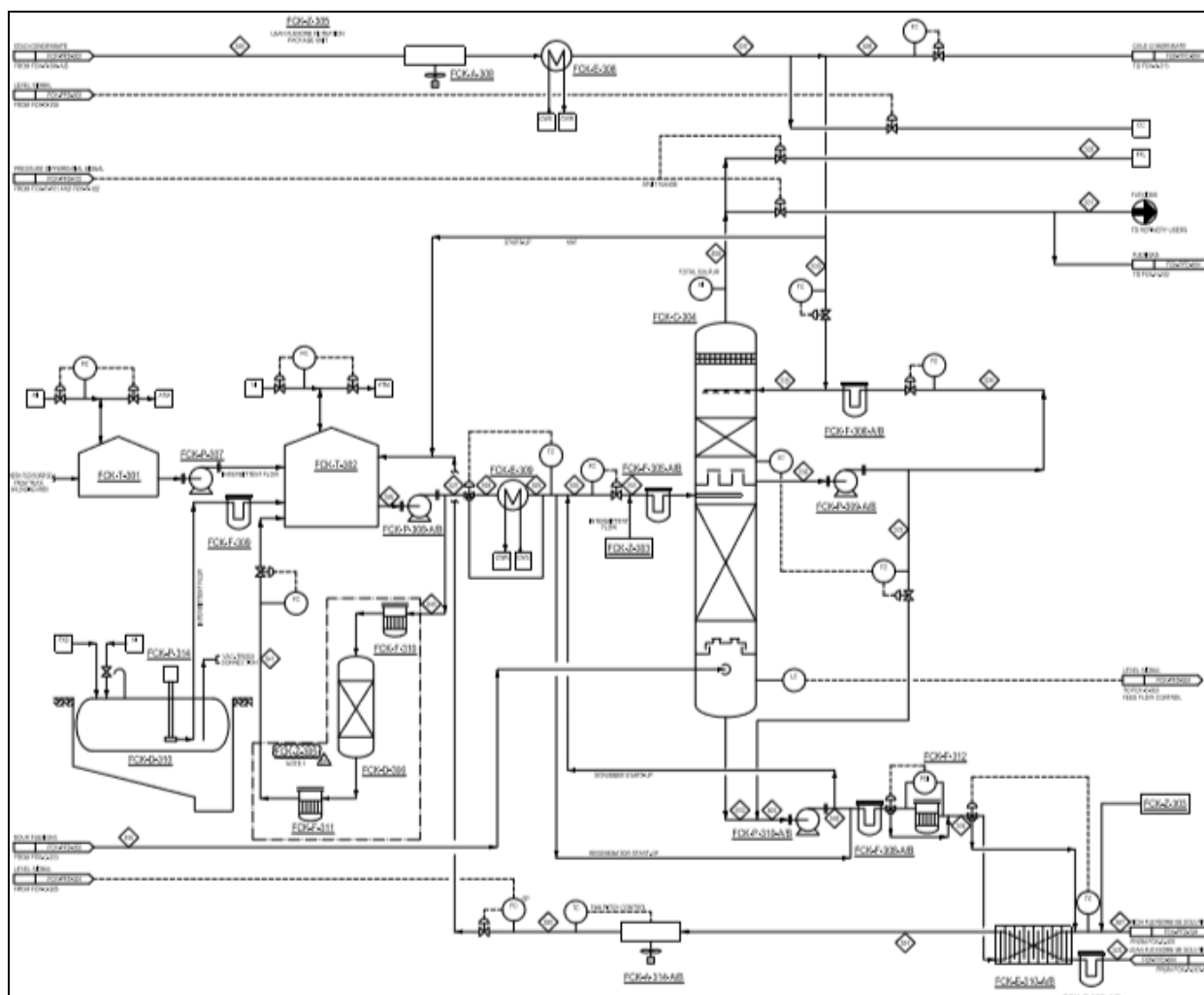
Fuente: PETROPERU

PROCESO FCK UNIDAD 300



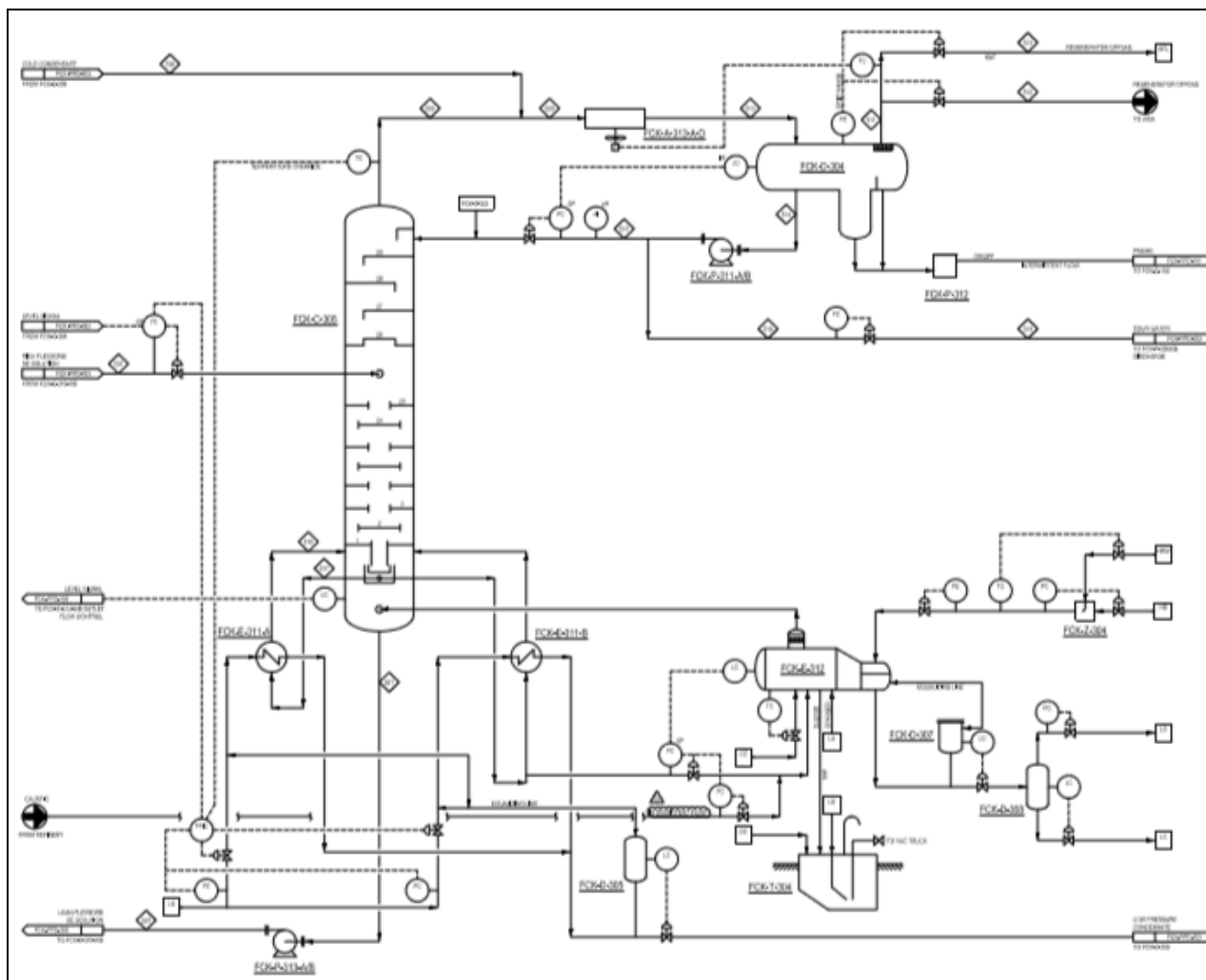
Fuente PETROPERU

PROCESO FCK UNIDAD 300



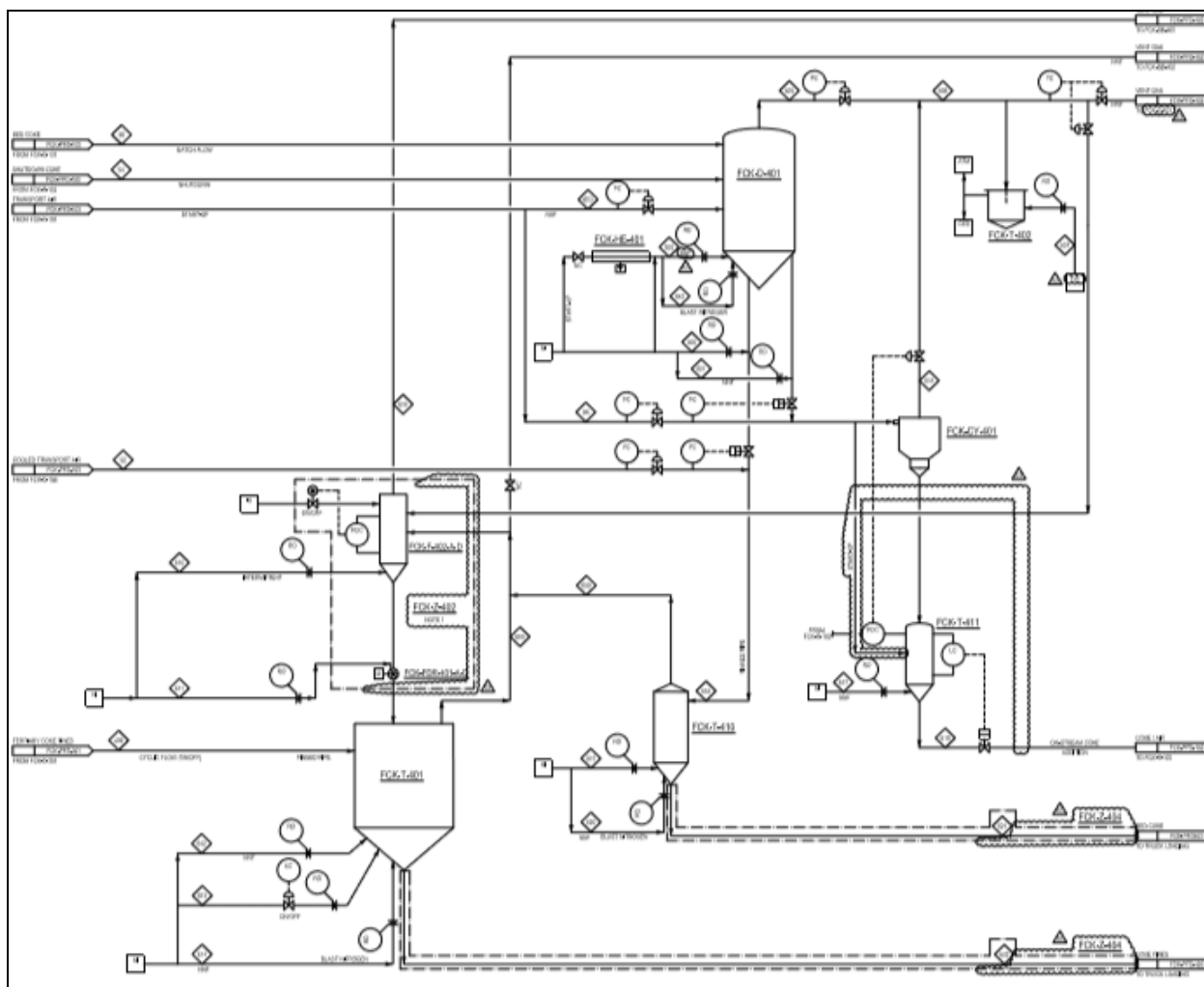
Fuente PETROPERU

PROCESO FCK UNIDAD 300



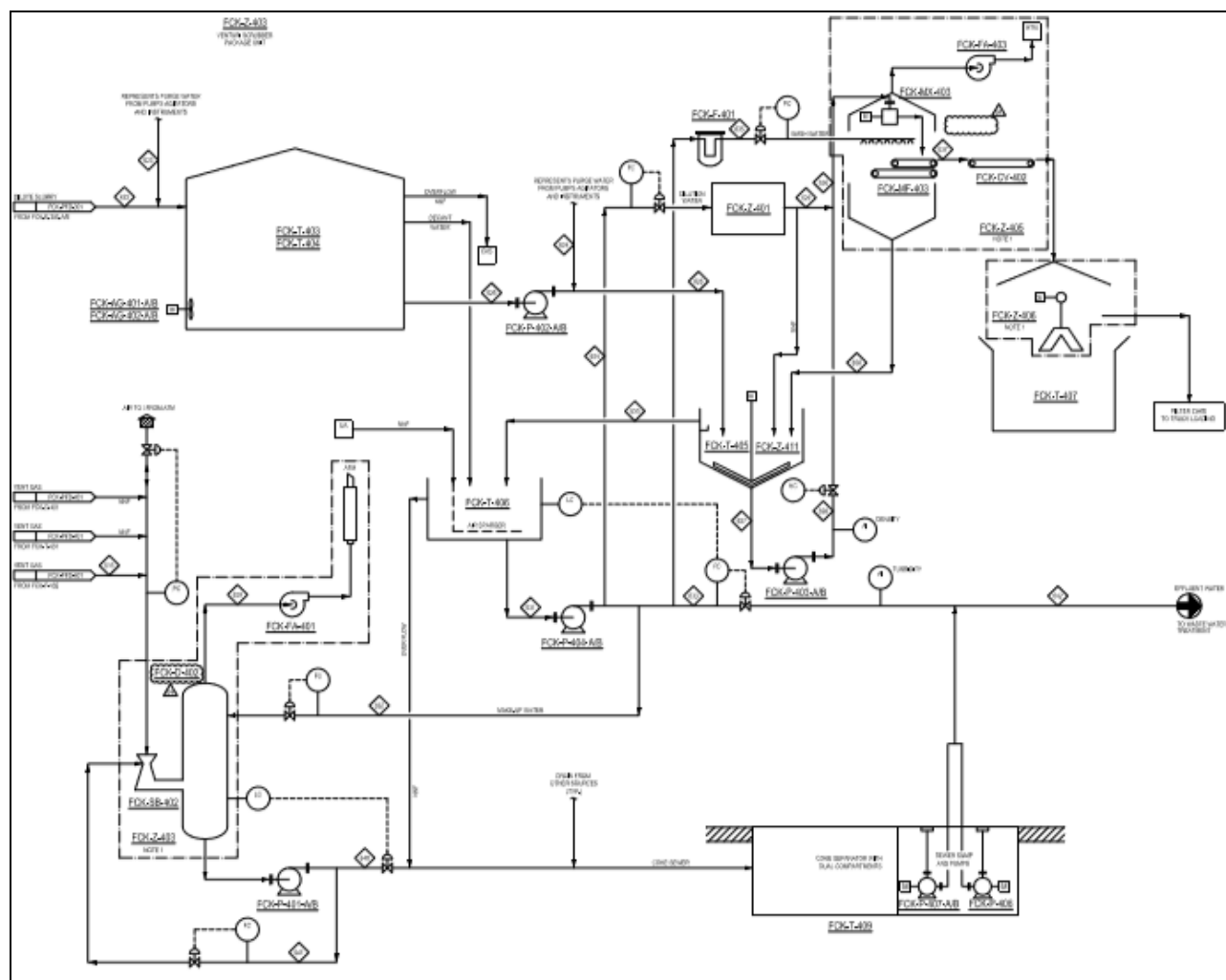
Fuente PETROPERU

Anexo N° 11: Proceso FCK unidad 400



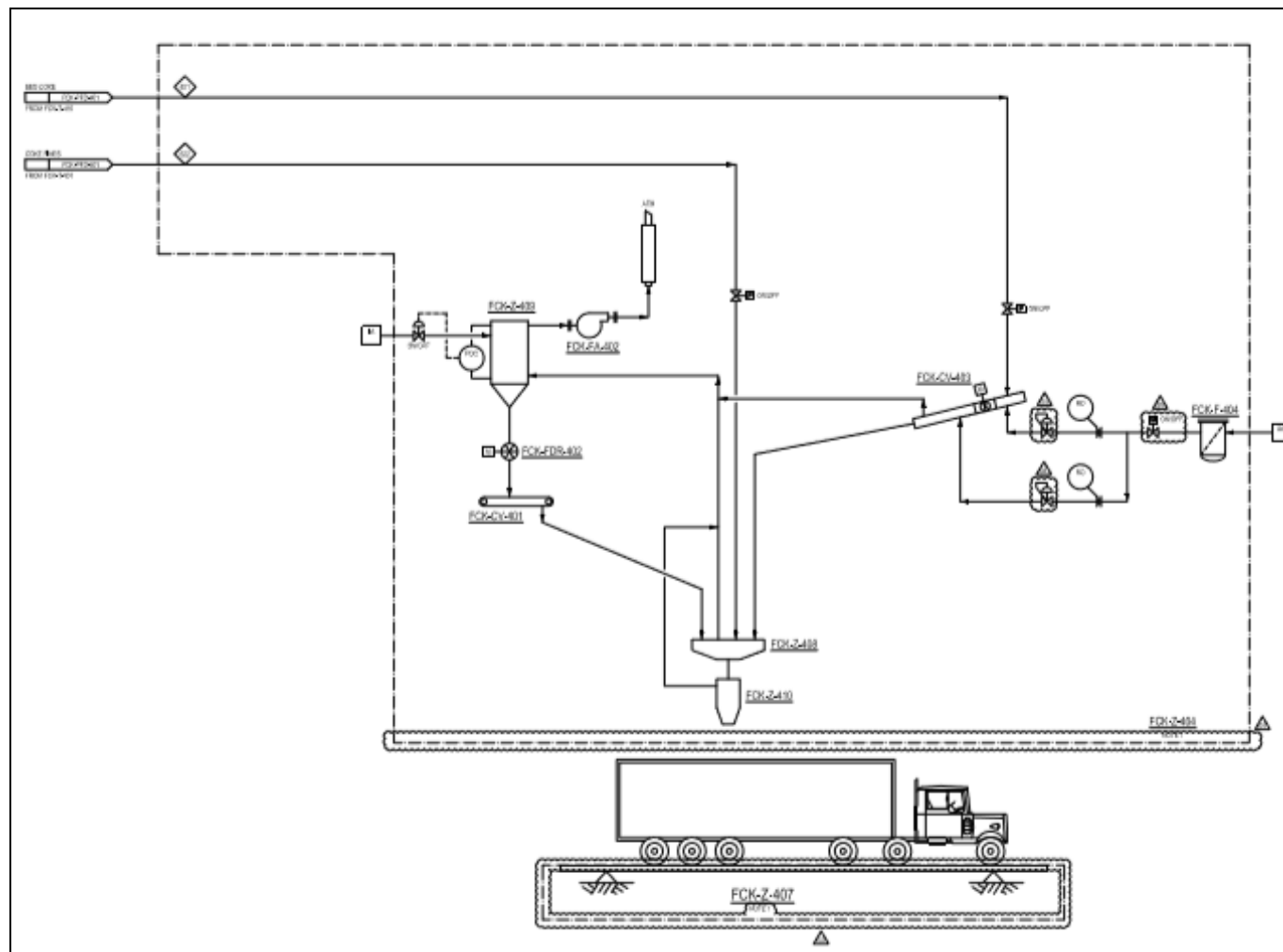
Fuente: PETROPERU

PROCESO FCK UNIDAD 400



Fuente PETROPERU




PROCESO FCK UNIDAD 400





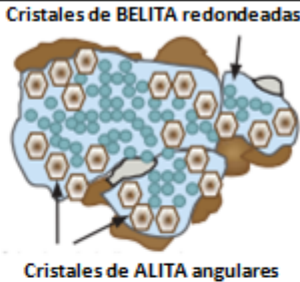

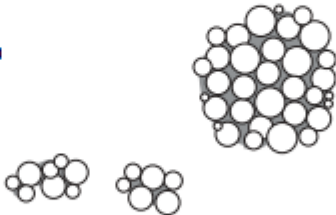
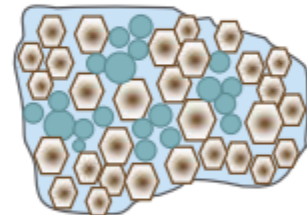


Fuente PETROPERU

ANEXOS DEL CAPITULO IV

Anexo N° 12: Transformaciones químicas en el tratamiento térmico del crudo (reacciones principales de clinkerización)

SECCION	VISTA DE HORNO	PROCESO DE NODULIZACIÓN	REACCION DE CLINKERIZACION
A 700°C, Las materias primas son un polvo de flujo libre		Las partículas son solidas. No hay reacción entre partículas	Hay pérdida de agua La arcilla deshidrata se recristaliza ● Partículas de arcilla ■ Partículas de conchuela
700 - 900 °C El polvo aún fluye libremente		Las partículas aun son solidas.	A medida que la calcinación continua, la cal libre aumenta. La sílice reactiva combina con el CaO para empezar a formar C2S. La calcinación mantiene la temperatura de alimentación en 850°C
1150 - 1200 °C Las partículas empiezan a ser "pegajosas"		Las reacciones empiezan entre las partículas solidas	Cuando la calcinación termina, la temperatura se eleva rápidamente. Los cristales pequeños de belita se forma por combinación de silicato de CaO

Fuente: Cementos Pacasmayo

SECCION	VISTA DE HORNO	PROCESO DE NODULIZACIÓN	REACCION DE CLINKERIZACION
<p>1200 - 1350°C</p> <p>Las partículas comienzan a aglomerarse y se mantienen juntas por la fase líquida</p>		<p>Las fuerzas capilares del líquido mantienen las partículas juntas</p> 	<p>La fase líquida se forma cuando la temperatura excede 1250°C. El líquido permite la reacción entre la belita y el CaO LIBRE formando alita</p>  <p>Cristales de BELITA redondeadas</p> <p>Cristales de ALITA angulares</p>
<p>1350 1450°C</p> <p>La aglomeración de las partículas continua a medida que el material cae encima uno de otro</p>		<p>Si hay líquido suficiente, se forman nódulo</p> <p>La insuficiencia de líquido producirá un clinker fino (polvoriento)</p> 	<p>La cantidad de cristales de BELITA disminuye e incrementa de diámetro.</p> <p>La cantidad de cristales de ALITA disminuye e incrementa en tamaño</p> 
<p>Enfriamiento</p>		<p>Los nódulos de clinker no cambian durante el enfriamiento</p> 	<p>Bajo el enfriamiento, el C3A y el C4AF se cristalizan en la fase líquida.</p> <p>La estructura laminar aparece en los cristales de BELITA.</p> 